

Климатические изменения: их природа и причины

Стивен Сарджент Вишер
Элсворт Хантингтон

Climatic Changes: Their Nature and Causes

Ellsworth Huntington and Stephen Sargent



Электронная книга проекта "Гутенберг" Климатические изменения: их природа и причины

Эта электронная книга предназначена для использования любым человеком в любой точке Соединенных Штатов и большинства других частей мира бесплатно и практически без каких-либо ограничений. Вы можете скопировать его, раздать или повторно использовать в соответствии с условиями лицензии Project Gutenberg, прилагаемой к этой книге, или онлайн по адресу www.gutenberg.org. Если вы находитесь за пределами Соединенных Штатов, вам необходимо ознакомиться с законами страны, в которой вы находитесь, прежде чем использовать эту электронную книгу.

Название: Климатические изменения: их природа и причины

Автор: Элсворт Хантингтон

Стивен Сарджент Вишер

Дата выхода: 26 октября 2011 [Электронная книга №37855]

Язык: Английский

Кредиты: Подготовлено Робинот Монксом, Уэйном Хаммондом и командой онлайн-корректоров по адресу <http://www.pgdp.net> (Этот файл создан на основе изображений, щедро предоставленных интернет-архивом / Канадскими библиотеками)

*** ЗАПУСК ПРОЕКТА ЭЛЕКТРОННОЙ КНИГИ ГУТЕНБЕРГА "КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ: ИХ ПРИРОДА И ПРИЧИНЫ" ***

ПРИМЕЧАНИЕ ПЕРЕПИСЧИКА: Орфография максимально приближена к оригиналу документа, в то время как очевидные опечатки были исправлены. Тире в исходном тексте для обозначения отрицательных температур заменены на знаки минус для стандартизации температур.

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ИХ ПРИРОДА И ПРИЧИНЫ

ОПУБЛИКОВАНО ФОНДОМ, УЧРЕЖДЕННЫМ В ПАМЯТЬ О ТЕОДОРЕ Л. ГЛАЗГО

ДРУГИЕ КНИГИ ТЕХ ЖЕ АВТОРОВ

ЭЛЛСВОРТ ХАНТИНГТОН

- A. *Четыре книги, демонстрирующие развитие знаний об исторических изменениях климата.*
- Пульс Азии. Бостон, 1907.
 - Исследования в Туркестане. Экспедиция 1903 года. Вашингтон, 1905.
 - Палестина и ее преобразование. Бостон, 1911.
 - Климатический фактор, как показано на примере засушливой Америки. Вашингтон, 1914.
- B. *Две книги, иллюстрирующие влияние климата на человека.*
- Цивилизация и климат. Нью-Хейвен, 1915 год.
 - Мировая мощь и эволюция. Нью-Хейвен, 1919 год.
- C. *Четыре книги, иллюстрирующие общие принципы географии.*
- Азия: Учебник географии. Чикаго, 1912.
 - Континент Красного человека. Нью-Хейвен, 1919 год.
 - Принципы географии человека (совместно с С. В. Кушингом). Нью-Йорк, 1920.
 - География бизнеса (совместно с Ф. Э. Уильямсом). Нью-Йорк, 1922.
- D. *Дополнение к настоящему тому.*
- Земля и Солнце: гипотеза о погоде и солнечных пятнах. Нью-Хейвен. В печати.

СТИВЕН САРДЖЕНТ ВИШЕР

География, геология и биология Южной Дакоты. Киноварь, 1912.

Биология северо-запада Южной Дакоты. Киноварь, 1914.

География Южной Дакоты. Киноварь, 1918.

Справочник по геологии Индианы (с другими). Индианаполис, 1922.

Ураганы Австралии и Южной части Тихого океана. Мельбурн, 1922.

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ

ИХ ПРИРОДА И ПРИЧИНЫ

АВТОР ЭЛЛСВОРТ ХАНТИНГТОН

Научный сотрудник по географии Йельского университета

И СТИВЕН САРДЖЕНТ ВИШЕР

Адъюнкт- профессор геологии

Индианского университета



ИЗДАТЕЛЬСТВО НЬЮ-ХЕЙВЕНСКОГО

ЙЕЛЬСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

ЛОНДОН: ХАМФРИ МИЛФОРД: ИЗДАТЕЛЬСТВО ОКСФОРДСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

MDCCCCXXII

АВТОРСКОЕ ПРАВО 1922 ГОДА ОТ

ИЗДАТЕЛЬСТВО ЙЕЛЬСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Опубликовано в 1922 году.

THE THEODORE L. МЕМОРИАЛЬНЫЙ ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ФОНД ГЛАЗГО

Настоящий том является пятой работой, опубликованной издательством Йельского университета в Мемориальном издательском фонде Теодора Л. Глазго. Этот фонд был основан 17 сентября 1918 года анонимным пожертвованием Йельскому университету в память о младшем лейтенанте авиации Теодоре Л. Глазго, Р.Н. Он родился в Монреале, Канада, и получил образование в школах Университета Торонто и Королевского военного колледжа в Кингстоне. В августе 1916 года он поступил на службу в Королевскую военно-морскую авиацию, а в июле 1917 года отправился во Францию с Десятой эскадрилей,

приданной Двадцать второму крылу Королевского летного корпуса. Месяц спустя, 19 августа 1917 года, он был убит в бою на Ипрском фронте.

ТОМАСУ КРОУДЕРУ ЧЕМБЕРЛИНУ ИЗ ЧИКАГСКОГО УНИВЕРСИТЕТА, ЧЬЕ ЯСНОЕ И МАСТЕРСКОЕ ОБСУЖДЕНИЕ ВЕЛИКИХ ПРОБЛЕМ ЗЕМНОЙ ЭВОЛЮЦИИ СТАЛО ОДНИМ ИЗ САМЫХ ВДОХНОВЛЯЮЩИХ ФАКТОРОВ При НАПИСАНИИ ЭТОЙ КНИГИ

Там есть игрушка, о которой я слышал, и я бы не хотел, чтобы ее отдавали, но немного подождал. Они говорят, что в Нидерландах (я не знаю, в какой части) наблюдается, что каждые тридцать пять лет снова наступает один и тот же вид и последовательность лет и погодных условий; такие как сильные морозы, сильная сырость, сильные засухи, теплая зима, лето с небольшой жарой и тому подобное, и они называют это расцветом; это то, что я скорее упоминаю, потому что, вычисляя в обратном порядке, я нашел некоторое совпадение.

ФРЭНСИС БЭКОН

ПРЕДИСЛОВИЕ

Единство, возможно, является лейтмотивом современной науки. Это означает единство во времени, поскольку настоящее - всего лишь результат прошлого, а будущее - настоящего. Это означает единство процесса, поскольку, по-видимому, нет резкой разделительной линии между органическим и неорганическим, физическим и ментальным, ментальным и духовным. А единство современной науки означает также растущую тенденцию к сотрудничеству, так что, работая сообща, ученые обнаруживают многое, что в противном случае оставалось бы скрытым.

Эта книга иллюстрирует современную тенденцию к единству всеми этими способами. Во-первых, это дополнительный том к "Земле и Солнцу". В этом томе обсуждаются причины возникновения погоды, но рассмотрение погоды в настоящем почти неизбежно приводит к изучению климата прошлого. Следовательно, первоначально эти две книги были написаны как одна и разделены только из соображений удобства. Во-вторых, единство природы настолько велико, что при рассмотрении такого предмета, как климатические изменения, практически невозможно избежать других тем, таких как движения земной коры. Следовательно, в этой книге не только обсуждаются климатические изменения, но и рассматриваются причины землетрясений и делается попытка показать, как климатические изменения могут быть связаны с великими геологическими революциями в форме, местоположении и высоте земель. Таким образом, книга имеет прямое отношение ко всем основным физическим факторам, которые сформировали эволюцию органической жизни, включая человека.

В-третьих, этот том иллюстрирует единство современной науки, поскольку он является продуктом сотрудничества. В его создании участвовали не только два автора, но и несколько преподавателей Йельского университета. С геологической точки зрения профессор Чарльз Шухерт прочитал всю рукопись в ее окончательном виде, а также отдельные части на различных этапах. Он помогал не только критикой, предложениями и фактами, но и готовыми к печати абзацами. Точно так же в области физики профессор Ли Пейдж неоднократно находила время, чтобы помочь, и либо письменно, либо из уст в уста написала много страниц. В астрономии такое же сердечное сотрудничество с такой же готовностью было оказано профессором

Фрэнком Шлезингером. Профессора Шухерт, Шлезингер и Пейдж внесли настолько существенный вклад, что являются почти соавторами этого тома. В математике профессор Эрнест У. Браун также оказал нам помощь, прочитав и раскритиковав всю книгу. В некоторых химических проблемах профессор Гарри У. Фут был нашей главной опорой. Советы и внушения этих людей часто предотвращали ошибки и снова и снова приводили к появлению новых и прибыльных направлений мысли. Если мы и совершали ошибки, то только потому, что недостаточно воспользовались их сотрудничеством. Если основная гипотеза этой книги оказывается обоснованной, то во многом потому, что она была сформулирована в ходе постоянных консультаций с мужчинами, которые смотрят на проблему с разных точек зрения. Наша признательность за их щедрое и безграничное сотрудничество гораздо глубже, чем может показаться из этого краткого абзаца.

За пределами Йельского факультета мы получили не менее сердечную помощь. Профессор Т. К. Чемберлин из Чикагского университета, которому, с его разрешения, мы с большим удовольствием посвящаем этот том, прочитал полностью доказательство и внес много полезных предложений. Мы не можем выразить слишком теплую признательность не только за это, но и за то, что его работа на протяжении многих лет служила источником вдохновения в предварительной работе по сбору данных для этого тома. Профессор Харлоу Шепли из Гарвардского университета внес существенный вклад в главу о солнце и его путешествии в космосе; профессор Эндрю Э. Дугласс из Университета Аризоны предоставил в наше распоряжение некоторые из своих неопубликованных результатов; профессора С. Б. Вудворт и Реджинальд А. Дейли, а также мистер Роберт У. Сэйлз из Гарварда и профессор Генри Ф. Рид из Университета Джона Хопкинса предложили новые факты и источники информации; профессор Э. Р. Камингс из Университета Индианы критически прочитал все доказательства; беседы с профессором Джоном П. Бувалдой из Калифорнийского университета, когда он преподавал в Йельском университете, заставляют задуматься о том, что происходит в настоящее время. он еще один настоящий автор; и мистер Вэйланд Уильямс привел интересную цитату из Бэкона на странице x этой книги. Мисс Эдит С. Рассел приложила немало усилий к подготовке рукописи и внесла множество изменений, вносящих ясность. Многие другие люди также помогли, но невозможно выразить должную признательность, потому что такой вклад настолько прочно вошел в ментальный фон книги, что его источник больше не является четким в сознании авторов.

Разделение труда между двумя авторами не соответствовало каким-либо установленным правилам. Оба приложили руку ко всем частям книги. Основной проект глав VII, VIII, IX, XI и XIII был написан младшим автором; его вклад также особенно многочислен в главах X и XV; остальная часть книги изначально была написана старшим автором.

СОДЕРЖАНИЕ

I	Единообразие климата	1
II.	Изменчивость климата	16
III.	Гипотезы изменения климата	33
IV.	Солнечно - циклоническая гипотеза	51
V.	Исторический климат	64

VI.	Климатический стресс Четырнадцатого века	98
VII.	Оледенение в соответствии с солнечно-циклонической гипотезой	110
VIII.	Некоторые проблемы ледниковых периодов	130
IX.	Происхождение лесса	155
X.	Причины мягкого геологического климата	166
XI.	Земные причины климатических изменений	188
XII.	Послеледниковые движения земной коры и климатические изменения	215
XIII.	Изменяющийся состав океанов и атмосферы	223
XIV.	Влияние других тел на Солнце	242
XV.	Путешествие Солнца в космосе	264
XVI.	Земная кора и Солнце	285

СПИСОК ИЛЛЮСТРАЦИЙ

Рис. 1.	Климатические изменения и горообразование	25
Рис. 2.	Интенсивность шторма при максимумах и минимумах солнечных пятен	54
Рис. 3.	Относительное количество осадков в периоды увеличения и уменьшения количества солнечных пятен	58, 59
Рис. 4.	Изменения климата в Калифорнии и в западной и центральной Азии	75
Рис. 5.	Изменения климата Калифорнии за 2000 лет, измеренные по росту деревьев секвойи	77
Рис. 6.	Распределение плейстоценовых ледниковых покровов	123
Рис. 7.	География перми и оледенение	145
Рис. 8.	Влияние уменьшения штормов на движение воды	175
Рис. 9.	Палеогеография мелового периода	201
Рис. 10.	Климатические изменения за 140 000 лет, полученные по звездам	279
Рис. 11.	Кривая солнечных пятен, показывающая циклы с 1750 по 1920 гг.	283
Рис. 12.	Сезонное распределение землетрясений	299
Рис. 13.	Смещение полюса с 1890 по 1898 г.	303

ТАБЛИЦЫ

1.	Таблица геологического времени	5
2.	Типы климатической последовательности	16

3.	Коэффициенты корреляции между количеством осадков и ростом секвой в Калифорнии	80
4.	Коэффициенты корреляции между данными о количестве осадков в Калифорнии и Иерусалиме	84
5.	Теоретическая вероятность сближения со Звездой	260
6.	Тридцать восемь звезд с наибольшими известными параллаксами	276, 277
7.	Разрушительные землетрясения с 1800 по 1899 год в сравнении с солнечными пятнами	289
8.	Сезонный марш землетрясений	295
9.	Отклонение траектории полюса по сравнению с землетрясениями	305
10.	Землетрясения 1903-1908 годов по сравнению с отклонениями прогнозируемой кривой земной оси от положения Эйлера	306

ГЛАВА I

ОДНОРОДНОСТЬ КЛИМАТА

Роль климата в современной жизни предполагает его важность в прошлом и в будущем. Ни одно человеческое существо не может избежать того факта, что его пища, одежда, кров, отдых, профессия, здоровье и энергия - все это находится под глубоким влиянием окружающей его климатической среды. Смена времени года влечет за собой определенные изменения практически в каждой фазе человеческой деятельности. Климат влияет на животных даже больше, чем на человека, поскольку они не разработали искусственных средств самозащиты. Даже такое выносливое существо, как собака, заметно меняется с изменением климата. Густошерстный эскимосский "хаски" внешне имеет мало общего с маленькими и почти безволосыми собаками, которые пресмыкаются под ногами в Мексике. Растения даже более чувствительны, чем животные и люди. Вряд ли какой-то один вид может постоянно процветать в регионах, средняя годовая температура которых отличается более чем на 20 ° C. Для большинства предел успешного роста составляет 10 °C.^[1] Насколько нам пока известно, каждый из ныне живущих видов растений и животных, включая человека, лучше всего развивается при определенных и ограниченных условиях температуры, влажности и солнечного света, а также при составе и движении атмосферы или воды, в которых он обитает. Любое отклонение от установленных пределов означает снижение эффективности, а в долгосрочной перспективе - более низкий уровень воспроизводства и тенденцию к изменению конкретных характеристик. Любой серьезный уход означает страдание или смерть для индивидуума и разрушение для вида.

Поскольку климат оказывает столь глубокое влияние на жизнь сегодня, он, по-видимому, был столь же мощным и в другие времена. Поэтому немногие научные вопросы являются более важными, чем то, как и почему климат земли менялся в прошлом и какие изменения он, вероятно, претерпит в будущем. В этой книге излагаются, по-видимому, главные причины климатических изменений в исторические и геологические периоды. Предполагается, что

причины, которые сейчас можно наблюдать в действии, как объясняется в сопутствующем томе, озаглавленном *Земля и Солнце*, и в таких книгах, как "*Физика воздуха*" Хамфриса, должны быть тщательно изучены, прежде чем обращаться к менее очевидным причинам. Это также предполагает, что те же самые причины будут продолжать действовать и являются основой всех достоверных прогнозов относительно погоды или климата в будущем.

В нашем анализе климатических изменений мы вполне можем начать с выяснения того, как менялся климат Земли на протяжении геологической истории. Такое исследование выявляет три великие тенденции, которые на поверхностный взгляд кажутся противоречивыми. Однако все они оказывают одинаковое воздействие, создавая условия, при которых органическая эволюция способна прогрессировать. Первая тенденция - к единообразию, единообразию настолько выраженному и продолжительному, что оно поражает воображение. На это, по-видимому, накладывается тенденция к усложнению. На протяжении большей части геологической истории климат Земли, по-видимому, был относительно однообразным, как от места к месту, так и от сезона к сезону; но начиная с миоцена правилом были разнообразие и сложность, условия, весьма благоприятные для органической эволюции. Наконец, единообразие огромных эпох прошлого и тенденция к усложнению нарушаются пульсирующими изменениями, сначала в одном направлении, а затем в другом. Нашему ограниченному человеческому зрению некоторые изменения, такие как ледниковые периоды, кажутся волнами огромных масштабов, но по сравнению с возможностями Вселенной они просто подобны ряби, создаваемой летним зефиром.

Однородность климата Земли на протяжении огромных отрезков геологического времени лучше всего можно понять, сравнив диапазон температур на земле в течение этого периода с возможным диапазоном, показанным во всей солнечной системе. Как видно из таблицы 1, геологическая летопись начинается с археозойской эры, или "Эпохи одноклеточной жизни", как ее иногда называют, поскольку предшествующее космическое время не оставило записей, которые еще можно было бы прочитать. Практически никто из геологов сейчас не верит, что начало археозоя было менее ста миллионов лет назад; а после открытия особых свойств радия многие из лучших исследователей, не колеблясь, говорят, что миллиард или полтора миллиардов.^[2] Даже в археозое горные породы свидетельствуют о климате, по-видимому, не сильно отличающемся от среднего за геологическое время. Поверхность земли тогда, по-видимому, была достаточно прохладной, чтобы покрыться океанами, и достаточно теплой, чтобы вода кишела микроскопической жизнью. Воздух, должно быть, был насыщен водяным паром и углекислым газом, поскольку иначе, по-видимому, невозможно объяснить образование аргиллитов и песчаников, известняков огромной толщины, углеродистых сланцев, графитов и железных руд.^[3] Хотя в археозое не обнаружено общепринятых окаменелостей, все же то, что кажется массивными водорослями и губками, было найдено в Канаде. С другой стороны, считается, что в океанах когда-то существовала богатая жизнь, поскольку никакими другими известными способами невозможно было бы извлечь из воздуха огромное количество углерода, который сейчас образует углеродистые сланцы и графит.

В следующую геологическую эру, протерозой, исследования Уолкотта показали, что помимо морских водорослей должно было существовать множество других видов жизни. Обнаруженные к настоящему времени протерозойские окаменелости включают не только микроскопические радиолярии, которые до сих пор образуют красный ил на дне самых глубоких океанов, но и гораздо более значительные трубки кольчатых червей. Присутствие

кольчатых червей, которые находятся на относительно высоком уровне организации, обычно считается означающим, что более низшие формы животных, такие как кишечнополостные и, вероятно, даже моллюски и примитивные членистоногие, уже должны были эволюционировать. На то, что в позднем протерозое обитало множество видов морских беспозвоночных, указывает чрезвычайно разнообразная жизнь, и особенно трилобиты, найденные в древнейших кембрийских слоях следующего последующего периода. На самом деле в кембрии есть губки, примитивные кораллы, великое разнообразие брахиопод, зачатки брюхоногих моллюсков, удивительное множество трилобитов и других низших форм членистоногих. Поскольку, согласно постулату эволюции, жизнь того времени образует непрерывную последовательность с жизнью настоящего, и поскольку многие из ранних форм лишь в незначительных деталях отличаются от современных, мы делаем вывод, что климат тогда не сильно отличался от современного. Тот же ход рассуждений приводит к выводу, что даже в середине протерозоя, когда многоклеточные морские животные уже должны были быть обычным явлением, климат земли на протяжении огромного периода был таким, что все низшие виды океанических беспозвоночных уже эволюционировали.

ТАБЛИЦА 1

ТАБЛИЦЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ВРЕМЕНИ^[4]

КОСМИЧЕСКОЕ ВРЕМЯ

Эпохи становления. Рождение и рост Земли. Зарождение атмосферы, гидросферы, континентальных платформ, океанических бассейнов и, возможно, жизни. Геологическая летопись неизвестна.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ВРЕМЯ

Археозойская эра. Происхождение простейшей жизни.

Протерозойская эра. Эпоха происхождения беспозвоночных. Ранний и поздний ледниковые периоды, с указанием одного или нескольких дополнительных периодов.

Палеозойская эра. Эпоха господства примитивных позвоночных.

Кембрийский период. Первое изобилие морских животных и доминирование трилобитов.

Ордовикский период. Первые известные пресноводные рыбы.

Силурийский период. Первые известные наземные растения.

Девонский период. Первые известные земноводные. Ледниковый период "Столовой горы".

Миссисипский период. Расцвет морских рыб (акул).

Пенсильванский период. Подъем насекомых и первый период заметного накопления угля.

Пермский период. Подъем рептилий. Еще один великий ледниковый период.

Мезозойская эра. Эпоха господства рептилий.

Триасовый период. Расцвет динозавров. Период заканчивается прохладным климатом.

Юрский период. Появление птиц и летающих рептилий.

Период команчей. Расцвет цветковых растений и высших насекомых.

Меловой период. Расцвет архаичных или примитивных млекопитающих.

Кайнозойская эра. Эпоха господства млекопитающих.

Ранний кайнозой, или эоцен и олигоцен. Подъем высших млекопитающих. Ледники в раннем эоцене в горах Ларамид.

Поздний кайнозой, или миоцен и плиоцен. Превращение обезьяноподобных животных в человека.

Ледниковое или плейстоценовое время. Последний великий ледниковый период.

НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ

психозойская эра. Возраст человека или возраст разума. Включает настоящее или "Недавнее время", которое оценивается, вероятно, менее чем в 30 000 лет.

Более того, они могли жить в большинстве широт, поскольку косвенные свидетельства существования жизни в археозойских и протерозойских породах широко распространены. Таким образом, оказывается, что в почти невероятно ранний период, возможно, много сотен миллионов лет назад, климат Земли лишь немного отличался от нынешнего.

Можно приблизительно определить крайние пределы температуры, за которые климат геологической эпохи не мог выйти. Сегодня средняя температура на поверхности самых теплых частей океана составляет около 30 ° C. Лишь немногие формы жизни обитают там, где средняя температура намного выше этой. Конечно, в пустынях некоторые высокоорганизованные растения и животные могут в течение короткого времени выдерживать температуру до 75 ° C. (167 ° F.). В некоторых горячих источниках некоторые из низших одноклеточных форм растений существуют в воде, температура которой лишь немного ниже точки кипения. Однако более сложные формы, такие как губки, черви и все высшие растения и животные, по-видимому, не способны жить ни в воде, ни в воздухе, где средняя температура превышает 45 ° C (113 ° F.) в течение сколь-нибудь длительного времени, и сомнительно, смогут ли они постоянно процветать даже при такой температуре. Очевидное единство жизни на протяжении сотен миллионов лет и ее постоянное присутствие в средних широтах, насколько мы можем судить, по-видимому, указывают на то, что с момента зарождения морской жизни температура океанов не могла быть в среднем намного выше 50 ° C даже в самых теплых частях. Это ставит предел скорее слишком высоким, чем слишком низким, но даже в этом случае самые теплые районы земли вряд ли были в среднем более чем на 20 ° теплее, чем в настоящее время.

Обращаясь к другой крайности, мы можем задаться вопросом, насколько холоднее, чем сейчас, могла быть поверхность земли с тех пор, как впервые появилась жизнь. Окаменелости протерозойского периода были найдены в местах, где нынешняя средняя температура приближается к 0 ° C. Если бы в этих местах было холоднее, чем сейчас, на 30 ° C или более, падение температуры на экваторе почти наверняка было бы еще большим, и моря повсюду были бы постоянно заморожены. Таким образом, жизнь была бы невозможна. Поскольку контрасты между летом и зимой, а также между полюсами и экватором, по-видимому, в прошлом были в целом меньше, чем в настоящее время, диапазон, в котором средняя температура земли в целом могла изменяться без полного уничтожения жизни, был, по-видимому, меньше, чем сейчас.

Эти соображения позволяют с достаточной уверенностью утверждать, что по крайней мере на протяжении нескольких сотен миллионов лет средняя температура поверхности Земли никогда не изменялась более чем на 30°C выше или ниже современного уровня. Даже этот диапазон в 60°C (108°F.) может быть вдвое или втрое больше диапазона, который имел место на самом деле. То, что температура не вышла за определенные узкие пределы, какова бы ни была их точная степень, ясно из того факта, что если бы это произошло, все высшие формы жизни были бы уничтожены. Некоторые из низших одноклеточных форм действительно могли сохраниться, поскольку в состоянии покоя они могут долгое время выдерживать сильные перепады сухой жары и холода. Но даже в этом случае эволюцию пришлось бы начинать почти заново. Предположение, что такое произошло, несостоятельно, поскольку нет никаких намеков на какой-либо полный перерыв в летописи жизни в геологические периоды, - никакого внезапного исчезновения высших организмов, за которым последовал длительный период без каких-либо признаков жизни, кроме косвенных свидетельств, подобных тому, что наблюдается в археозое.

Изменение средней температуры земной поверхности на 60°C или даже на 20°C может показаться значительным, если рассматривать его с ограниченной точки зрения земного опыта. Однако, рассматриваемый с точки зрения космической эволюции или даже солнечной системы, это кажется сущим пустяком. Рассмотрите возможности. Температура пустого пространства равна абсолютному нулю, или -273°C . До этой температуры должна опуститься вся материя, при условии, что она существует достаточно долго и не нагревается заметно при столкновениях или излучении. На другом полюсе находится температура звезд. По мере движения звезд наше солнце нагревается лишь умеренно, но температура его поверхности, по расчетам, составляет почти 7000°C , в то время как на расстоянии тысяч миль вглубь страны она может подниматься до $20\,000^{\circ}$, или $100\,000^{\circ}$, или какой-то другой столь же непознаваемой величины. Между границами абсолютного нуля, с одной стороны, и внутренней частью солнца или звезды - с другой, существуют почти все мыслимые возможности изменения температуры. Сегодня средняя температура поверхности земли находится недалеко от 14°C , или на 287° выше абсолютного нуля. В глубине страны температура в шахтах и глубоких колодцах повышается примерно на 1°C . на каждые 100 метров. При такой скорости температура будет выше 500°C . на глубине десяти миль и выше 5000° на глубине 100 миль.

Давайте ограничимся поверхностными температурами, которые являются единственным, что волнует нас при обсуждении климата. Пойнтингом было подсчитано^[5], что если бы небольшая сфера поглощала и повторно излучала все попадающее на нее тепло, ее температура на расстоянии Меркурия от солнца составляла бы в среднем около 210°C ; на расстоянии Венеры - 85° ; земли - 27° ; Марса - 30° ; Нептуна - 219° . Планета, находящаяся гораздо ближе к Солнцу, чем Меркурий, может быть нагрета до температуры в тысячу или даже несколько тысяч градусов, в то время как планета за Нептуном оставалась бы почти на абсолютном нуле. Вполне вероятно, что температура поверхности планеты должна быть где-то от -273°C до, возможно, 5000°C или более, хотя вероятность низкой температуры намного больше, чем высокой. Таким образом, во всем огромном диапазоне возможностей, простирающемся, возможно, до $10\,000^{\circ}$, земля претендует максимум на 60° , или менее 1 процента. Это может быть примечательно, но что гораздо более примечательно, так это то, что диапазон земли в 60° включает, по-видимому, две наиболее критические из всех возможных температур, а именно, точку замерзания воды, 0°C , и температуру, при которой вода может растворить количество углекислого газа, равное ее собственному объему. Самым замечательным фактом из всех является то, что земля сохраняла

свою температуру в этих узких пределах в течение ста миллионов лет, а может быть, и тысячи миллионов.

Чтобы оценить исключительную значимость этого последнего факта, необходимо осознать, насколько чрезвычайно важны температуры примерно от 0 ° до 40 ° C и как трудно найти какую-либо вескую причину относительно равномерной температуры на протяжении сотен миллионов лет. С незапамятных геологических времен температура земли, по-видимому, всегда находилась в диапазоне примерно от точки замерзания воды примерно до точки, когда протоплазма начинает распадаться. Хендерсон в книге *"Пригодность окружающей среды"* справедливо говорит, что вода - "самая знакомая и самая важная из всех вещей". Во многих отношениях вода и углекислый газ образуют самую уникальную пару веществ во всей области химии. Вода имеет большую тенденцию, чем любое другое известное вещество, оставаться в определенных, строго определенных пределах температуры. Он не только обладает высокой удельной теплоемкостью, так что для повышения его температуры требуется много тепла, но и при замораживании отдает больше тепла, чем любое вещество, за исключением аммиака, в то время как ни одна из обычных жидкостей не приближается к нему по количеству дополнительного тепла, необходимого для превращения в пар после достижения температуры испарения. Опять же, водное вещество, как физики называют все формы H₂O, уникально тем, что оно не только сжимается при плавлении, но и продолжает сжиматься до тех пор, пока не будет достигнута температура на несколько градусов выше его точки плавления. Этот факт имеет огромное значение для поддержания постоянной температуры на поверхности земли. Если бы вода была похожа на большинство жидкостей, дно всех океанов и даже весь водоем в большинстве случаев были бы постоянно заморожены.

Опять же, в качестве растворителя воду буквально не с чем сравнить. Как выразился Хендерсон^[6]: "Почти вся наука химия была построена вокруг воды и водных растворов". Одним из наиболее значимых свидетельств этого является разнообразие элементов, присутствие которых можно обнаружить в морской воде. Согласно Хендерсону, они включают водород, кислород, азот, углерод, хлор, натрий, магний, серу, фосфор, которые легко обнаруживаются; а также мышьяк, цезий, золото, литий, рубидий, барий, свинец, бор, фтор, железо, йод, бром, калий, кобальт, медь, марганец, никель, серебро, кремний, цинк, алюминий, кальций и стронций. Однако, несмотря на свою удивительную растворяющую способность, вода химически довольно инертна и относительно стабильна. Она растворяет все эти элементы и тысячи их соединений, но при этом остается водой и может быть легко отделена и очищена. Еще одним уникальным свойством воды является ее способность ионизировать растворенные вещества, свойство, которое позволяет вырабатывать электрический ток в батареях. Это приводит к почти бесконечному множеству электрохимических реакций, которые играют почти доминирующую роль в процессах жизнедеятельности. Наконец, ни одна обычная жидкость, кроме ртути, не сравнится с водой по своей капиллярности. Этот факт имеет огромное значение в биологии, наиболее очевидно в отношении почвы.

Хотя углекислый газ гораздо менее известен, чем вода, он почти так же важен. "Эти два простых вещества, - говорит Гендерсон, - являются общим источником всех сложных веществ, которые вырабатываются живыми существами, и они являются общими конечными продуктами изнашивания всех составляющих протоплазмы и разрушения тех материалов, которые обеспечивают организм энергией". Одним из замечательных физических свойств диоксида углерода является его степень растворимости в воде. Это качество сильно различается у разных

веществ. Например, при обычных давлении и температуре вода может поглощать лишь около 5% от своего собственного объема кислорода, в то время как аммиак может поглощаться примерно в 1300 раз больше, чем его собственный объем. Что касается углекислого газа, то, в отличие от большинства газов, объем, который может быть поглощен водой, почти такой же, как объем самой воды. Однако объемы варьируются в зависимости от температуры, будучи абсолютно одинаковыми при температуре около 15 ° C или 59 ° F. Что близко к идеальной температуре для физического здоровья человека и практически совпадает со средней температурой поверхности Земли при усреднении всех сезонов вместе взятых. "Следовательно, когда вода находится в контакте с воздухом и установлено равновесие, количество свободной углекислоты в данном объеме воды почти в точности равно количеству в прилегающем воздухе. В отличие от кислорода, водорода и азота, углекислота свободно проникает в воду; в отличие от окиси серы и аммиака, она свободно выходит из воды. Таким образом, вода никогда не сможет полностью вымыть углекислоту из воздуха, равно как и воздух не сможет удержать ее от попадания в воду. Это единственное вещество, которое, таким образом, в значительных количествах по сравнению с ее общим количеством повсюду сопровождает воду. В земле, воздухе, огне и воде эти две субстанции всегда связаны.

Соответственно, если вода является первым основным компонентом окружающей среды, углекислота неизбежно является вторым — из-за ее растворимости, обладающей равной подвижностью с водой, из-за того, что резервуар атмосферы никогда не истощается в результате химического воздействия в океанах, озерах и ручьях. По правде говоря, связь между этими двумя веществами настолько тесна, что вряд ли логически правильно их вообще разделять; вместе они составляют реальную среду обитания и никогда не расстанутся".^[7]

Взаимодополняющие свойства диоксида углерода и воды имеют первостепенное значение, поскольку эти два вещества являются единственными известными веществами, которые способны образовывать обширную серию сложных соединений с сильно различающимися химическими формулами. Никакие другие известные соединения не могут выделять или приобретать атомы, не распадаясь обратно на свои элементы. Таким образом, никакие другие соединения не могут свободно изменять свою форму, не теряя своей идентичности. Эта способность изменять без разрушения является фундаментальной химической характеристикой жизни, поскольку жизнь требует сложности, изменений и роста.

Для того чтобы вода и углекислый газ могли соединяться с образованием соединений, на которых основана жизнь, вода должна быть в жидкой форме, она должна быть способна свободно растворять углекислый газ, а температура не должна быть достаточно высокой, чтобы разрушить очень сложные и деликатные соединения сразу после их образования. Другими словами, температура должна быть выше нуля, при этом она не должна подниматься выше некоторой довольно неопределенной точки между 50 ° C. и точкой кипения, когда вся вода в конечном итоге превращается в пар. Во всем диапазоне температур, насколько нам известно, нет другого интервала, где происходили бы такие сложные реакции. Температура земли на протяжении сотен миллионов лет оставалась твердо зафиксированной в этих пределах.

Поразительная однородность температуры на земле становится еще более очевидной, когда мы рассматриваем происхождение солнечного тепла. Каково это происхождение, все еще остается спорным вопросом. Старые представления о горящем солнце или о том, что оно просто теряет первоначальный запас тепла, полученный в результате какой-либо аварии, такой

как столкновение с другим телом, были давным-давно отброшены. Воздействие постоянного потока метеоритов дает почти столь же неудовлетворительное объяснение. Моултон^[8] утверждает, что если бы на солнце упало достаточное количество метеоритов, чтобы сохранить его тепло, то на землю почти наверняка упало бы столько метеоритов, что она получила бы от них примерно на половину 1% больше тепла, чем от солнца. Это в миллионы раз больше тепла, чем сейчас поступает от метеоритов. Если солнце выделяет тепло из-за воздействия более крупных тел с более длительными интервалами, геологические летописи должны показывать серию перерывов, гораздо более резких, чем это имеет место на самом деле.

Также предполагалось, что солнце обязано своим теплом сжатию. Если газообразное тело сжимается, оно становится теплее. В конце концов, однако, она должна стать настолько плотной, чтобы скорость ее сжатия уменьшилась и процесс прекратился. При нынешних размерах и плотности солнца радиального сокращения на 120 футов в год было бы достаточно, чтобы обеспечить поступление всей энергии, излучаемой этим телом в настоящее время. Это кажется обнадеживающим источником энергии, но Кельвин подсчитал, что двадцать миллионов лет назад он был неэффективен и через десять миллионов лет будет таким же. Более того, если это источник тепла, то количество излучения от солнца должно было бы сильно варьироваться. Двадцать миллионов лет назад солнце вытянулось бы почти до орбиты Земли и было бы настолько слабым, что излучало бы тепла не больше, чем некоторые туманности в космосе. Несколько миллионов лет спустя, когда радиус солнца был бы вдвое больше, чем сейчас, это тело излучало бы лишь вчетверо больше тепла, чем сейчас, что означало бы, что теоретическая температура на поверхности земли была бы на 200 ° ниже нынешнего уровня. Это совершенно не согласуется с однородностью климата, о которой свидетельствуют геологические данные. В будущем, если сжатие солнца будет единственным источником тепла, солнце сможет вырабатывать нынешнее количество только в течение десяти миллионов лет, что означало бы изменение, совершенно не похожее ни на что, на что геологическая летопись содержит даже малейший намек.^[9]

В целом проблема того, как солнце могло оставаться таким однородным и как атмосфера Земли и другие условия также могли оставаться такими однородными на протяжении сотен миллионов лет, является одной из самых загадочных во всем царстве природы. Если обратиться к радиоактивности и распаду урана на радий и гелий, то можно постулировать условия, которые дадут необходимое количество энергии. Так же обстоит дело, если предположить, что существует какой-то неизвестный процесс, который может вызвать атомные изменения, подобные радиоактивности, в телах, которые сейчас считаются стабильными элементами. Однако в любом случае пока нет удовлетворительного объяснения *однородности* климата Земли. Сто миллионов или тысячу миллионов лет назад температура поверхности земли была почти такой же, как сейчас. Тогда земля, по-видимому, перестала выделять сколько-нибудь большое количество тепла, если мы можем судить по тому факту, что ее поверхность была достаточно прохладной, чтобы огромные ледяные щиты могли скапливаться на низменностях в пределах 40 ° от экватора. Атмосфера, по-видимому, была почти такой же, как сегодня, и почти наверняка отличалась недостаточно, чтобы компенсировать какое-либо значительное отклонение солнца от его нынешнего состояния. Мы не можем избежать потрясающего факта, что в те далекие времена солнце, должно быть, было практически таким же, как сейчас, или же здесь действовал какой-то совершенно неизвестный фактор.

ГЛАВА II

ИЗМЕНЧИВОСТЬ КЛИМАТА

Изменчивость климата Земли почти столь же необычна, как и его однородность. Эта изменчивость частично состоит из длительной, медленной тенденции в одном направлении, а частично из бесчисленных циклов любой мыслимой продолжительности - от дней или даже часов до миллионов лет. Возможно, самый простой способ понять всю сложность вопроса - представить основные типы климатической последовательности в виде таблицы.

ТАБЛИЦА 2

ТИПЫ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

- | | |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Космическое единообразие. | 7. Периоды Брюкнера. |
| 2. Вековое развитие. | 8. Циклы появления солнечных пятен. |
| 3. Геологические колебания. | 9. Сезонные колебания. |
| 4. Колебания ледникового покрова. | 10. Миграции плеонов. |
| 5. Орбитальные прецессии. | 11. Циклонические колебания. |
| 6. Исторические пульсации. | 12. Ежедневные вибрации. |

При присвоении названий различным типам была предпринята попытка указать на природу последовательности в том, что касается продолжительности, периодичности и общих тенденций. Однако даже богатый английский язык двадцатого века не наделяет слова достаточным количеством оттенков значения, чтобы выразить все, что желательно. Более того, за исключением степени, нет четкого различия между некоторыми родственными типами, такими как колебания ледникового периода и исторические пульсации. Тем не менее, взятая в целом, таблица демонстрирует разительный контраст между двумя абсолютно разными крайностями. На одном конце лежит почти вечное единообразие или чрезвычайно медленный прогресс в одном направлении на протяжении бесчисленных эпох; на другом - быстрые и регулярные колебания изо дня в день или же нерегулярные и, казалось бы, бессистемные колебания из-за циклонических штормов, оба типа которых повторяются миллионы раз даже в течение одного ледникового периода.

Значение космического единообразия было объяснено в предыдущей главе. Его связь с другими типами климатических последовательностей, по-видимому, заключается в том, что он устанавливает четко определенные пределы, за которые никакие изменения любого рода никогда не выходили с тех пор, как впервые зародилась жизнь, какой мы ее знаем. Вековой прогресс, с другой стороны, означает, что, несмотря на всевозможные вариации, то в одну сторону, то в другую, нормальный климат земли, если таковой существует, в целом, вероятно, немного изменился, возможно, стал более сложным. После каждого периода континентального поднятия и оледенения — поскольку это преимущественно периоды сложности — сомнительно, возвращалась ли земля когда-либо к своей прежней степени однообразия. Сегодня земля отошла от огромного разнообразия ледникового периода. И все же у нас все еще есть контрасты, которые кажутся нам огромными. В низменностях, таких как Турфан в центральных пустынях Евразии, столбик термометра иногда колеблется от 0 °F. утром до 60 ° в тени в полдень.

Напротив, в пасмурный день в лесах Амазонки недалеко от берега моря температура в течение нескольких месяцев может подниматься до 85 ° днем и опускаться не ниже 75 ° ночью.

Причины векового изменения климата Земли, по-видимому, тесно связаны с теми, которые вызвали следующий и во многих отношениях более важный тип климатической последовательности, состоящий из геологических колебаний. Как прогрессирование, так и колебания, по-видимому, в значительной степени зависят от трех чисто земных факторов: во-первых, состояния недр Земли, включая как внутреннее тепло, так и сжатие; во-вторых, солености и движения океана; и, в-третьих, состава и количества атмосферы. Начнем с недр земли — потеря тепла в них, по-видимому, является почти незначительным фактором для объяснения либо векового развития, либо геологических колебаний. Согласно как туманной, так и планетезимальной гипотезам, земная кора сейчас кажется более холодной, чем сотни или тысячи миллионов лет назад. Однако выделение внутреннего тепла, вероятно, перестало иметь большое климатическое значение ближе к началу геологической летописи, поскольку на юге Канады оледенение произошло очень рано в протерозойскую эру. С другой стороны, сжатие земли производило замечательные эффекты на протяжении всего геологического времени. Это уменьшило окружность земли на тысячу миль или даже больше, как видно из того, каким образом скалы были сложены и плотно насажены друг на друга. Согласно законам динамики, это должно было увеличить скорость вращения земли, тем самым сократив продолжительность дня, а также иметь более важный эффект увеличения выпуклости на экваторе. С другой стороны, недавние исследования показывают, что задержка приливов, вероятно, снизила скорость вращения Земли больше, чем казалось вероятным несколько лет назад, тем самым удлинив день и уменьшив выпуклость на экваторе. Таким образом, действовали две противоположные силы, одна из которых вызывала ускорение, а другая замедление. Их совокупный эффект, возможно, был фактором, вызывающим вековое изменение климата. Это почти наверняка имело большое значение, вызывая выраженные колебания сначала в одну, а затем в другую сторону. Этот вопрос, как и большинство вопросов, затронутых в этих первых главах, будет расширен в последующих частях книги. В целом тенденция, по-видимому, заключалась в создании климатического разнообразия вместо единообразия.

Повышение солености океанов, возможно, было еще одним фактором, вызвавшим вековое прогрессирование, хотя и не имело большого значения в отношении колебаний. В то время как океаны все еще увеличивались в объеме, обычно предполагается, что они, должно быть, были почти пресными в течение длительного периода, хотя Чемберлин считает, что изменение солености было гораздо меньшим, чем обычно предполагается. Поскольку ранние океаны были более пресными, чем современные, их глубоководная циркуляция, должно быть, была менее затруднена, чем сейчас, тяжелой соленой водой, которая образуется в результате испарения в теплых регионах. Хотя эта соленая вода теплая, ее вес заставляет ее опускаться, вместо того чтобы двигаться к полюсу в поверхностном течении; это опускание замедляет подъем холодной воды, которая переместилась в глубинах океана из высоких широт, и таким образом сдерживает общую океаническую циркуляцию. Если древние океаны были более свежими, следовательно, имели более свободную циркуляцию, чем сейчас, то более быстрый обмен полярной и экваториальной водой, по-видимому, имел тенденцию выравнивать климат всех широт.

Опять же, хотя атмосфера Земли, вероятно, изменилась за геологические периоды гораздо меньше, чем предполагалось ранее, ее состав, несомненно, менялся. Общий объем азота, вероятно, увеличился, поскольку этот газ настолько инертен, что, когда он однажды становится

частью воздуха, он почти наверняка там и остается. С другой стороны, пропорции кислорода, углекислого газа и водяного пара, должно быть, колебались. Кислород постоянно извлекается животными и всеми процессами выветривания горных пород, но, с другой стороны, его поступление увеличивается, когда растения расщепляют новый углекислый газ, образующийся в результате извержения вулканов. Что касается углекислого газа, то представляется вероятным, что, несмотря на возросший запас, обеспечиваемый вулканами, огромные количества углерода, которые постепенно накапливались в угле и известняке, заметно истощили атмосферу. Водяной пар также может быть менее обильным сейчас, чем в прошлом, поскольку присутствие углекислого газа немного повышает температуру и тем самым позволяет воздуху удерживать больше влаги. Когда площадь океанов уменьшается, а это повторялось очень часто, это также привело бы к уменьшению количества водяного пара. Более того, даже очень незначительное уменьшение количества тепла, выделяемого землей, или уменьшение испарения из-за более высокой солености океанов будет иметь тенденцию в том же направлении. Теперь и углекислый газ, и водяной пар обладают сильным защитным эффектом, благодаря которому тепло не покидает землю. Таким образом, вероятное сокращение содержания углекислого газа и водяного пара в атмосфере Земли, по-видимому, привело к уменьшению климатической монотонности и созданию разнообразия и сложности. Следовательно, несмотря на множество обратных явлений, общая тенденция изменений не только в недрах Земли и океанах, но также и в атмосфере, по-видимому, представляет собой непрерывный переход от относительно однообразного климата, при котором эволюция высших органических форм вряд ли была бы быстрой, к чрезвычайно разнообразному и сложному климату, весьма благоприятствующему прогрессивной эволюции. Важность этих чисто земных агентств не следует упускать из виду, когда мы переходим к обсуждению других агентств за пределами Земли.

В таблице 2 следующий тип климатической последовательности - геологические колебания. Это означает медленные колебания, которые длятся миллионы лет. На одном из полюсов такого колебания климат во всем мире относительно однообразен; он как бы возвращается к первобытным условиям в начале векового развития. В те времена магнолии, секвойи, инжир, древовидные папоротники и многие другие виды субтропических растений росли далеко на севере, в таких местах, как Гренландия, о чем хорошо известно, например, по их ископаемым остаткам среднекайнозойского периода. В те же времена, а также во многие другие, до появления таких высоких видов растений, кораллы, образующие рифы, росли в большом изобилии в морях, которые покрывали территории нынешних Висконсина, Мичигана, Онтарио и других столь же прохладных регионов. Сегодня средняя температура в этих регионах составляет всего около 70 ° F. в самый теплый месяц и в среднем значительно ниже нуля зимой. Кораллы, образующие рифы, теперь не могут жить там, где средняя температура ниже 68 ° F. Сходство древних кораллов с современными делает весьма вероятным, что они были одинаково чувствительны к низкой температуре. Таким образом, в умеренные периоды геологического колебания климат, по-видимому, был настолько ровным и однородным, что многие растения и животные могли жить на 1500, а в другие времена даже на 4000 миль дальше от экватора, чем сейчас.

В те времена земли в средних и высоких широтах были низкими и небольшими, а океаны широко простирались над континентальными платформами. Таким образом,

беспрепятственные океанские течения получили возможность переносить тепло низких широт далеко к полюсам. При таких условиях, особенно если концепция великого субэкваториального континента Гондвана верна, пассаты и западные направления должны были быть сильнее и устойчивее, чем сейчас. Это не только позволило бы западным ветрам, которые на самом деле являются юго-западными, переносить в высокие широты больше тепла, чем сейчас, но и еще больше усилило бы океанские течения. В то же время воздух, по-видимому, содержал большое количество водяного пара, получаемого из обширных океанов, и большое количество атмосферного углекислого газа, унаследованного от предшествующего времени, когда вулканы вносили в воздух много углекислого газа. Эти две составляющие атмосферы, возможно, оказывали выраженный защитный эффект, благодаря которому тепло земли с ее длинными волнами удерживалось внутри, хотя энергия солнца с его более короткими волнами заметно не задерживалась. Таким образом, все могло объединиться, чтобы создать мягкие условия в высоких широтах и уменьшить контраст между экватором и полюсом, а также между летом и зимой.

Такие условия, возможно, несут в себе семена разложения. В любом случае, пока земли лежат спокойно в период мягкого климата, в земной коре должны накапливаться большие напряжения из-за сжатия земли и замедления приливов. В то же время огромное изобилие растений на низменных равнинах с их мягким климатом и морских обитателей на обширных континентальных платформах истощают содержание углекислого газа в атмосфере. Часть этого запасается в виде угля, а часть - в виде известняка, получаемого из морских растений, а также животных. Затем что-то происходит, и напряжения земной коры высвобождаются. Морское дно опускается; континенты становятся относительно высокими и обширными; образуются горные хребты; а бывшие равнины и возникающие части континентальных платформ размываются, превращаясь в холмы и долины. Большой размер континентов имеет тенденцию создавать пустыни и другие типы климатического разнообразия; наличие горных хребтов препятствует свободному течению ветров, а также создает разнообразие; океанские течения также сдерживаются, изменяются и отводятся, так что поток тепла из низких широт в высокие уменьшается. В то же время испарение из океана уменьшается, так что уменьшение содержания водяного пара в сочетании с предыдущим уменьшением содержания углекислого газа приводит к уменьшению защитного эффекта атмосферы. Таким образом, за периодами умеренной монотонности следуют периоды сложности, разнообразия и суровости. Обратитесь к таблице 1 и посмотрите, как ледниковый климат снова и снова сменяет время, когда почти повсюду преобладала относительная мягкость. Или посмотрите на рис. 1 и обратите внимание, как линии, обозначающие температуру, поднимаются и опускаются. На рисунке Шухерт ясно показывает, что когда земли были большими и образование гор имело важное значение, как показано высокими частями нижней заштрихованной области, климат был суровым, как показано понижением линии снега в верхней заштрихованной области. На диаграмме климатические колебания кажутся короткими, но это просто потому, что они были сосредоточены вместе, особенно в левой или ранней части. Там дюйм в длину может означать сто миллионов лет. Даже на правом конце один дюйм эквивалентен нескольким миллионам лет.

В последующих главах будет показано, что как суровая, так и умеренная часть климатических колебаний несет в себе определенные вероятные семена упадка. В то время как земли поднимаются, вулканическая активность, вероятно, будет интенсивной и приведет к увеличению содержания углекислого газа в воздухе. Позже, когда горы разрушаются под воздействием воды, ветра, льда и химического распада, хотя в результате карбонизации горных

пород задерживается много углекислого газа, углерод, запертый в угле, высвобождается и увеличивает содержание углекислого газа в воздухе. В то же время континенты медленно оседают вниз, поскольку земная кора, хотя и твердая, как сталь, тем не менее, слегка вязкая и будет течь, если подвергнуться достаточно большому и продолжительному давлению. Таким образом, площадь, с которой может происходить испарение, увеличивается из-за распространения океанов по континентам, и водяной пар соединяется с углекислым газом, покрывая землю, и, таким образом, имеет тенденцию сохранять на ней равномерное тепло. Более того, уменьшение площади суши освобождает океанские течения от ограничений и позволяет им более свободно течь от низких широт к высоким. Таким образом, в течение миллионов лет происходит возврат к монотонности. В конечном счете, однако, в земной коре накапливаются новые напряжения, и подготавливается путь для еще одного большого колебания. Возможно, освобождение от напряжений происходит просто потому, что напряжение, наконец, становится непреодолимым. Также возможно, как мы увидим, что внешнее воздействие иногда усиливает напряжение и тем самым определяет время, в которое должно начаться новое колебание.

В таблице 2 типами климатических последовательностей, которые следуют за "геологическими колебаниями", являются "ледниковые колебания", "орбитальные прецессии" и "исторические пульсации". Ледниковые флуктуации и исторические пульсации, по-видимому, относятся к одному и тому же типу, за исключением серьезности и продолжительности, и, следовательно, могут рассматриваться вместе. Здесь они будут рассмотрены вкратце, поскольку теории относительно их причин изложены в следующих двух главах. Как ни странно, хотя исторические пульсации находятся гораздо ближе к нам, чем колебания ледникового периода, они были обнаружены только два или три поколения спустя и до сих пор гораздо менее известны. Наиболее важной особенностью обеих последовательностей является переход от ледниковой к межледниковой эпохе или от арсиса, или акцентированной части исторической пульсации, к тезису, или акцентированной части. В ледниковую эпоху или в период исторической пульсации штормы обычно обильны и сильны, средняя температура ниже обычной, снег скапливается в высоких широтах или на высоких горах. Например, в последний такой период в четырнадцатом веке в Северном море попеременно происходили сильные наводнения и засухи; несколько раз можно было пересечь Балтийское море из Германии в Швецию по льду, а лед в Гренландии продвинулся настолько, что береговые оледенения вынудили скандинавов изменить свой маршрут плавания между Исландией и норвежскими колониями на юге Гренландии. В то же время в низких широтах и в некоторых частях континентальной глубинки наблюдается тенденция к уменьшению количества осадков и даже к засушливости и образованию пустынь. Например, на Юкатане уменьшение количества тропических осадков в четырнадцатом веке, по-видимому, дало майя последнюю возможность возродить свою приходящую в упадок цивилизацию.

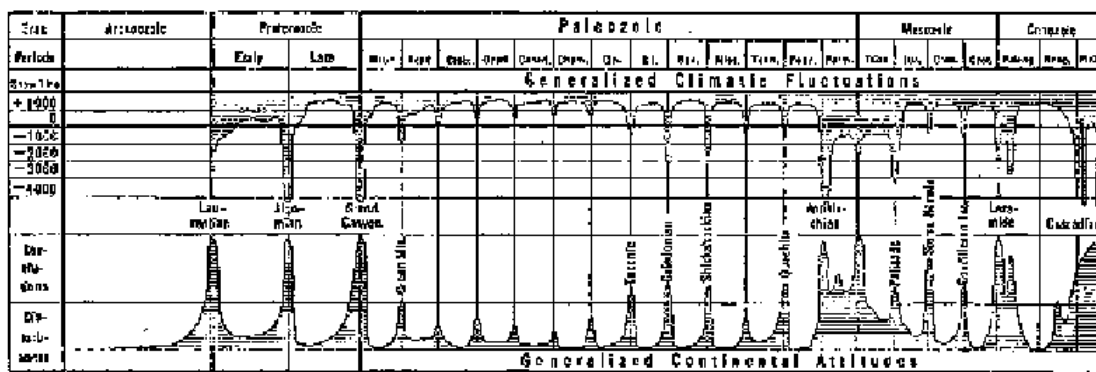


Рис. 1. Климатические изменения и горообразование.

(Вслед за Шухертом, в "Эволюции Земли и ее обитателей", под редакцией Р. С. Лалля.)

Диаграмма, показывающая время и вероятную степень более или менее заметных изменений климата в геологической истории Северной Америки и ее возвышения до горных цепей.

Среди климатических последовательностей колебания ледников, возможно, имеют наиболее важное значение с точки зрения органической эволюции; с точки зрения истории человечества то же самое верно и для климатических пульсаций. Ледниковые эпохи неоднократно уничтожали тысячи и тысячи видов и играли определенную роль в происхождении совершенно новых видов растений и животных. Лучше всего это видно, когда жизнь жителей Пенсильвании сравнивается с жизнью жителей Перми. Историческая пульсация может стереть с лица земли целую цивилизацию и позволить вырасти новой, с радикально иным характером. Следовательно, нет ничего странного в том, что причины таких климатических явлений обсуждались с необычайной энергией. В немногих областях науки существовал более внушительный или более интересный набор теорий. В этой книге мы рассмотрим наиболее важную из этих теорий. Наибольшее внимание будет уделено новой солнечной или циклонической гипотезе, а также гипотезе изменения формы и высоты суши, но другие главные гипотезы изложены в следующей главе, и на них часто ссылаются на протяжении всего тома.

Между ледниковыми колебаниями и историческими пульсациями продолжительности, но, вероятно, менее сильными, чем те и другие, возникают орбитальные прецессии. Они выделяются в отдельную группу и больше похожи на сезонные смены, чем на любой другой тип климатической последовательности. Они, должно быть, происходили с абсолютной регулярностью с тех пор, как земля начала вращаться вокруг Солнца по своей нынешней эллиптической орбите. Поскольку орбита эллиптическая, а солнце находится в одном из двух фокусов эллипса, расстояние Земли от солнца меняется. В настоящее время Земля находится ближе всего к солнцу северной зимой. Следовательно, суровость зимы в северном полушарии смягчается, в то время как в южном полушарии усиливается. Примерно через десять тысяч лет это состояние изменится на противоположное, а еще через десять тысяч лет нынешние условия вернутся снова. Такие климатические прецессии, как мы можем их здесь назвать, должны были происходить бесчисленное количество раз в прошлом, но, по-видимому, они не были достаточно масштабными, чтобы оставить в окаменелостях горных пород какие-либо следы, которые можно было бы отличить от следов других климатических последовательностей.

Теперь мы переходим к периодам Брюкнера и циклам солнечных пятен. Периоды Брюкнера длятся около тридцати трех лет. Об их существовании говорили по меньшей мере так же давно,

как и во времена сэра Фрэнсиса Бэкона, чье высказывание о них цитируется на форзаце этой книги. С тех пор они были обнаружены путем тщательного изучения записей о времени сбора урожая, сбора винограда, открытия рек для судоходства и подъема или спада уровня озер, таких как Каспийское море. В своей книге *оклимате Европы за 1700 год* Брюкнер собрал необычайно интересный набор фактов о климате Европы за более чем два столетия. Совсем недавно, изучая скорость роста деревьев, Дуглас в своей книге о *климатических циклах и росте деревьев*, продвинулся в этом вопросе еще дальше. В целом природа 33-летних периодов, по-видимому, идентична природе 11-или 12-летнего цикла солнечных пятен, с одной стороны, и исторических пульсаций - с другой. На протяжении столетия наблюдатели отмечали, что изменения погоды, которые все замечают из года в год, по-видимому, имеют какое-то отношение к солнечным пятнам. Однако на протяжении поколений взаимосвязь обсуждалась, не приводя к какому-либо определенному выводу. Проблема заключалась в том, что одни и те же изменения должны были произойти во всех частях мира. Следовательно, когда где-то на любой данной стадии появления солнечных пятен обнаруживались всякого рода изменения, казалось, что никакой взаимосвязи быть не может. Однако в последние годы этот вопрос стал достаточно ясен. Главные выводы заключаются, во-первых, в том, что при большом количестве солнечных пятен средняя температура поверхности Земли ниже нормальной. Это не означает, что во всех частях становится прохладнее, поскольку, в то время как на некоторых больших площадях становится прохладно, на других меньшей площади становится тепло во время появления большого количества солнечных пятен. Во-вторых, во время многих солнечных пятен штормы бывают более обильными, чем обычно, но также несколько ограничены определенными ограниченными трассами, так что в других местах можно отметить уменьшение интенсивности штормов. Весь этот вопрос так полно обсуждается в книге *"Земля и Солнце"*, что нет необходимости задерживать нас далее на этом предварительном взгляде на проблему климата в целом. Достаточно сказать, что изучение цикла солнечных пятен приводит к выводу, что он дает ключ ко многим нерешенным проблемам климата прошлого, а также ключ к прогнозированию будущего.

Проходя мимо сезонных колебаний, которые полностью объясняются как результат обращения земли вокруг Солнца, мы можем просто указать, что, подобно суточным колебаниям, которые завершают таблицу 2, они подчеркивают выдающийся факт, что основным фактором, определяющим земной климат, является количество энергии, получаемой от солнца. Этот же принцип иллюстрируется плеонийскими миграциями. Термин "плеон" происходит от греческого слова, означающего "больше". Он был взят Арктовски для обозначения областей или периодов, где наблюдается избыток какого-либо климатического элемента, такого как атмосферное давление, количество осадков или температура. Даже если устранить влияние сезонов, оказывается, что течение этих различных элементов протекает неравномерно. Как всем известно, период, подобный осени 1920 года на востоке Соединенных Штатов, может быть необычно теплым, в то время как последующий период может быть не по сезону прохладным. Эти отклонения от нормы демонстрируют определенную грубую периодичность. Например, есть свидетельства о периоде продолжительностью около двадцати семи дней, соответствующем вращению солнца и ранее предполагавшемся связанным с обращением Луны, которое занимает почти столько же времени. Третьи периоды, по-видимому, имеют среднюю продолжительность около трех месяцев и от двух до трех лет. Недавно в отношении таких плеонов были сделаны два замечательных открытия. Первый заключается в том, что данный тип изменений обычно происходит одновременно в ряде четко определенных, но

широко разделенных центров, в то время как изменение противоположного характера возникает в другом столь же четко определенном, но совершенно ином наборе центров. Как правило, области высокого давления имеют один тип изменений, а области низкого давления - другой. Эти отношения настолько систематичны и настолько полностью гармонируют в широко удаленных друг от друга частях земли, что кажется несомненным, что они должны быть вызваны какой-то внешней причиной, которой, по всей вероятности, может быть только солнце. Второе открытие заключается в том, что плейоны, однажды сформировавшись, перемещаются по поверхности земли неравномерно. Их пути еще не проработаны в деталях, но общая миграция кажется хорошо установленной. Из-за этого вполне вероятно, что если в какой-либо части континента в данный момент времени преобладает необычно теплая погода, то "термоплейон", или избыток тепла, не исчезнет, а будет постепенно уходить в каком-то определенном направлении. Если бы мы знали путь, по которому она пойдет, мы могли бы предсказать общую температуру вдоль ее течения на несколько месяцев вперед. Пути часто нерегулярны, и плейоны часто проявляют тенденцию к распаду или внезапному возрождению. Вероятно, эта тенденция обусловлена колебаниями солнца. Когда солнце сильно меняется, плейоны многочисленны и сильны, а экстремальные погодные условия часты. Взятые в целом, плейоны предлагают одну из самых интересных и обнадеживающих областей не только для изучающих причины климатических изменений, но и для человека, интересующегося практическим вопросом долгосрочных прогнозов погоды. Как и многие другие климатические явления, они, по-видимому, представляют собой совокупное воздействие условий на солнце и на саму землю.

Последняя из климатических последовательностей, требующая объяснения, - это циклонические колебания. Они знакомы каждому, поскольку представляют собой изменения погоды, которые происходят с интервалом в несколько дней, неделю или две, в любое время года, на большей части территории Соединенных Штатов, Европы, Японии и некоторых других прогрессивных частей земли. Однако они не происходят с большой частотой в экваториальных регионах, пустынях и многих других регионах. До конца прошлого столетия обычно предполагалось, что циклонические штормы имеют чисто земное происхождение. Без какого-либо адекватного исследования предполагалось, что все нарушения планетарной циркуляции ветров возникают из-за неравномерного распределения тепла, обусловленного условиями внутри самой земли или на ней. Предполагалось, что эти неровности вызывают циклонические штормы в определенных ограниченных поясах, но не в большинстве частей света. Сегодня это представление быстро меняется. Несомненно, неровности, обусловленные чисто земными условиями, являются одной из главных причин возникновения штормов, но начинает казаться, что солнечные колебания также играют свою роль. Например, было обнаружено, что не только средняя температура поверхности земли меняется в соответствии с циклом появления солнечных пятен, но и частота и сила штормов меняются таким же образом. Более того, было продемонстрировано, что солнечное излучение не является постоянным, а подвержено бесчисленным колебаниям. Это не означает, что общая температура Солнца меняется, а просто то, что в некоторые моменты времени нагретые газы быстро выбрасываются до высоких уровней, так что внезапная волна энергии обрушивается на землю. Таким образом, нынешняя тенденция состоит в том, чтобы полагать, что циклонические колебания, изменения погоды, которые приходят и уходят таким бессистемным, безответственным образом, частично обусловлены причинами, относящимися к самой земле, и частично к солнцу.

Из этого краткого обзора типов климатических последовательностей становится очевидным, что их можно разделить на четыре большие группы. Сначала возникает космическая

однородность, один из самых удивительных и непостижимых из всех известных фактов. У нас просто нет ни одного сколько-нибудь адекватного объяснения. Далее следуют вековое развитие и геологические колебания, два типа изменений, которые, по-видимому, обусловлены в основном чисто земными причинами, то есть изменениями в суше, океанах и воздухе. Общая тенденция этих изменений заключается в усложнении и разнообразии, что приводит к прогрессированию, но они подвержены частым разворотам, которые приводят к колебаниям, длящимся миллионы лет. Процессы, посредством которых происходят колебания, полностью рассмотрены в этой книге. Тем не менее, поскольку они достаточно хорошо изучены, их рассмотрение откладывается до тех пор, пока не будет рассмотрена третья группа последовательностей. Эта группа включает колебания ледникового периода, исторические пульсации, периоды Брюкнера, циклы солнечных пятен, плейоценовые миграции и циклонические колебания. Выдающимся фактом в отношении всех них является то, что, хотя они сильно изменены чисто земными условиями, они, по-видимому, обязаны своим происхождением изменениям на солнце. Они составляют главную тему книги *"Земля и Солнце"*, а в своих более крупных фазах также являются наиболее важной темой этой книги. Последняя группа последовательностей включает орбитальные прецессии, сезонные чередования и суточные вариации. Их можно рассматривать как чисто солнечные по происхождению. Однако их влияние, как и влияние каждой из других групп, сильно изменяется в зависимости от условий самой земли. Наша главная проблема состоит в том, чтобы разделить и объяснить два важнейших элемента климатических изменений — воздействие солнца, с одной стороны, и земли - с другой.

ГЛАВА III

ГИПОТЕЗЫ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Следующим шагом в нашем изучении климата является рассмотрение основных гипотез относительно причин оледенения. Эти гипотезы применимы также к другим типам климатических изменений. Однако мы сосредоточимся на ледниковых периодах не только потому, что они являются наиболее драматичными и хорошо известными типами изменений, но и потому, что они обсуждались больше, чем какие-либо другие, и также оказали большое влияние на эволюцию. Более того, они находятся примерно в середине типов климатических последовательностей, и понимание их во многом помогает объяснить остальные. При обзоре различных теорий мы не будем пытаться охватить всю территорию, а просто сформулируем основные идеи нескольких теорий, оказавших важное влияние на научную мысль.

Условия, которым должна удовлетворять любая удовлетворительная климатическая гипотеза, вкратце сводятся к следующему:

1. Следует уделять должное внимание тому факту, что изменения климата почти наверняка обусловлены совокупным воздействием множества причин, как земных, так и солнечных или космических.
2. Следует также обратить внимание обеих сторон в длительном споре о том, связано ли оледенение в первую очередь с уменьшением запасов тепла на земле или

сперераспределением тепла в результате изменений атмосферной и океанической циркуляции. В настоящее время подавляющее большинство авторитетных специалистов выступают за снижение температуры, но другая точка зрения также заслуживает изучения.

3. Удовлетворительная гипотеза должна объяснить частую синхронность между двумя великими типами явлений; во-первых, движения земной коры, при которых поднимаются континенты и сдвигаются горы; и, во-вторых, значительные изменения климата, которые обычно отмечаются относительно быстрыми колебаниями от одной крайности к другой.
4. Ни одна гипотеза не может быть принята, если она не удовлетворяет нескольким строгим требованиям геологической летописи с ее частым, но нерегулярным повторением длительных, мягких периодов, относительно прохладных или промежуточных периодов, подобных нынешнему, и более или менее суровых ледниковых периодов, возможно, сопровождающих более или менее масштабное поднятие континентов. По крайней мере, в более поздние ледниковые периоды гипотеза должна объяснять многочисленные климатические эпохи и этапы, наложенные на единый общий период континентальных потрясений. Более того, хотя историческая геология требует циклов различной продолжительности и величины, она не дает доказательств какой-либо жесткой периодичности, делающей циклы однородными по продолжительности или интенсивности.
5. Самое главное, что удовлетворительное объяснение климатических изменений и деформации земной коры должно учитывать все факторы, которые в настоящее время вызывают подобные явления. Следует ли рассматривать какие-либо другие агентства, остается открытым вопросом, хотя относительная важность существующих агентств могла варьироваться.

I. *Теория эксцентricности Кролла.* Одной из самых остроумных и наиболее тщательно разработанных научных гипотез является^[10] прецессионная гипотеза Кролла относительно влияния собственных движений Земли. Это было так хорошо разработано, что на какое-то время получило широкое признание и до сих пор находит место в популярных, но ненаучных книгах, таких как *Очерк истории Уэллса*, и даже в научных работах, таких как *"Четвертичный ледниковый период"* Райта. Суть гипотезы уже была изложена в связи с типом климатической последовательности, известной как орбитальные прецессии. Земля находится на расстоянии 93 миллионов миль от Солнца в январе и 97 миллионов в июле. Однако земная ось "прецессирует" точно так же, как вращающийся волчок. Отсюда возникает то, что известно как прецессия равноденствий, то есть устойчивая смена времени года, в которое земля находится в перигелии, или ближайшей к солнцу точке. В течение 21 000 лет время перигелия меняется с начала января на протяжении всех двенадцати месяцев и обратно до января. Более того, в определенные периоды орбита земли немного более эллиптическая, чем в другие, поскольку планеты иногда сгруппировываются так, что все они тянут землю в одном направлении. Следовательно, примерно раз в сто тысяч лет влияние эллиптической формы земной орбиты достигает максимума.

Кролл утверждал, что эти астрономические изменения должны изменить климат Земли, особенно из-за их влияния на ветры и океанские течения. Его тщательно продуманная аргументация содержит огромное количество ценного материала. Однако более поздние исследования, по-видимому, доказали несостоятельность его гипотезы. Во-первых, предполагаемая причина кажется недостаточной для получения наблюдаемых результатов. Во-вторых, гипотеза Кролла требует, чтобы оледенение в северном и южном полушариях происходило попеременно. Однако постоянно растущее количество фактов указывает на то, что

оледенение происходит в двух полушариях не попеременно, а в одно и то же время. В-третьих, гипотеза предполагает постоянное и частое повторение оледенения с абсолютно регулярными интервалами. Геологические летописи не демонстрируют такой регулярности, поскольку иногда несколько ледниковых эпох следуют относительно близко друг к другу с неравномерными интервалами, возможно, от пятидесяти до двухсот тысяч лет, и таким образом образуют ледниковый период; а затем в течение миллионов лет их не бывает. В-четвертых, гипотеза эксцентриситетности не дает адекватного объяснения стадиям оледенения или подпочвам, историческим пульсациям и другим меньшим климатическим изменениям, которые накладываются на ледниковые эпохи и друг на друга в ошеломляющей путанице. Несмотря на эти возражения, вряд ли можно сомневаться в том, что эксцентриситет земной орбиты и прецессия точек равноденствий с возникающим в результате изменением сезона перигелия должны оказывать какое-то климатическое воздействие. Следовательно, теория Кролля заслуживает постоянного, хотя и незначительного места в любом всестороннем обсуждении причин климатических изменений.

II. *Теория двуокиси углерода.* Примерно в то время, когда теория эксцентриситетности отошла на второй план, разрабатывалась новая теория, которая вскоре оказала глубокое влияние на геологическую мысль. Чемберлин,^[11] приняв идею, предложенную Тиндалем, воспламенил воображение геологов своим умелым изложением роли углекислого газа в возникновении климатических изменений. Сегодня эта теория, вероятно, получила более широкое признание, чем любая другая. Мы уже видели, что количество углекислого газа в атмосфере имеет определенное климатическое значение. Более того, не может быть никаких сомнений в том, что количество этого газа в атмосфере меняется от эпохи к эпохе в зависимости от того, в какой степени он высвобождается вулканами, потребляется растениями, соединяется с горными породами в процессе выветривания, растворяется в океане или задерживается в виде угля и известняка. Главный вопрос заключается в том, могут ли такие вариации вызывать изменения столь быстрые, как ледниковые эпохи и исторические пульсации.

Многочисленные свидетельства, по-видимому, показывают, что степень, в которой воздух может нагреваться углекислым газом, резко ограничена. Хамфриз в своей превосходной книге о *физике воздуха* подсчитал, что слой углекислого газа толщиной в сорок сантиметров оказывает практически такое же обволакивающее действие, как и слой неограниченно более толстый. Другими словами, сорок сантиметров двуокиси углерода, не оказывая заметного влияния на солнечный свет, падающий на землю, будут отфильтровывать и, таким образом, удерживать в атмосфере все исходящее земное тепло, которое способна поглощать двуокись углерода. Добавление большего было бы похоже на добавление другого фильтра, когда действующий уже выполнил все, на что способен этот конкретный тип фильтра. Согласно расчетам Хамфриса, удвоение содержания углекислого газа в воздухе само по себе повысило бы среднюю температуру примерно на 1,3 ° C. и дальнейшее содержание углекислого газа практически не оказало бы никакого эффекта. Сокращение текущего запаса наполовину привело бы к снижению температуры практически на ту же величину.

Однако эффект должен быть больше, чем следует из приведенных выше рисунков, поскольку любое изменение температуры влияет на количество водяного пара, что, в свою очередь, вызывает дальнейшие изменения температуры. Более того, как указывает Чемберлин, неясно, учитывает ли Хамфриз тот факт, что когда ближайшие к земле 40 сантиметров CO₂ нагреваются земным излучением, оно, в свою очередь, излучает половину своего тепла наружу, а половину

внутри. Внешняя половина полностью поглощается следующим слоем углекислого газа, и так далее. Процесс намного сложнее этого, но конечным результатом является то, что даже последнее приращение CO_2 , то есть самые удаленные участки в верхних слоях атмосферы, по-видимому, должно поглощать бесконечно малое количество тепла. Этот факт, а также воздействие водяного пара, по-видимому, указывают на то, что удвоение или уменьшение вдвое количества CO_2 привело бы к повышению температуры более чем на $1,3^\circ\text{C}$. Изменение даже на 2°C выше или ниже нынешнего уровня средней температуры земли имело бы очень заметное климатическое значение, поскольку обычно считается, что в разгар ледникового периода средняя температура составляла всего $5-8^\circ\text{C}$. ниже, чем сейчас.

Тем не менее, колебания содержания углекислого газа в атмосфере не обязательно кажутся достаточными для того, чтобы вызывать относительно быстрые климатические колебания ледниковых эпох и исторические пульсации, в отличие от более длительных колебаний ледниковых периодов и геологических эр. По мнению Чемберлина, как и по нашему, возвышение суши, изменение воздушных и океанических течений и все, что связано с возвышением как топографическим фактором, является основной причиной климатических изменений. Особым эффектом этого является удаление углекислого газа из воздуха за усиленных процессов атмосферного воздействия. Это, как он осторожно утверждает, очень медленный процесс и сам по себе не может привести ни к чему столь внезапному, как наступление оледенения. Но здесь проявляется наиболее выдающийся вклад Чемберлина в эту тему, а именно гипотеза о том, что изменения температуры атмосферы, возникающие в результате колебаний содержания углекислого газа в атмосфере, способны вызвать обратное изменение глубоководной океанической циркуляции.

Согласно точке зрения Чемберлина, обычная океаническая циркуляция большей части геологического времени была обратной нынешней циркуляции. Теплая вода опускалась в глубины океана в низких широтах, сохраняла свое тепло, медленно продвигаясь к полюсу, и поднималась в высоких широтах, создавая теплый климат, который позволил кораллам, например, расти в высоких широтах. Чемберлин придерживается этого мнения во многом потому, что, по его мнению, нет другого разумного способа объяснить чрезвычайно длительные теплые периоды, когда теплолюбивые формы жизни обитали на территории, которая сейчас является полярными областями льда и снега. Он объясняет эту обратную циркуляцию предположением, что обилие атмосферного углекислого газа вкупе с широким распространением океанов сделали атмосферу настолько теплой, что испарение в низких широтах происходило гораздо быстрее, чем сейчас. Таким образом, поверхностные воды океана превратились в такой рассол тяжелый и имеет тенденцию опускаться, тем самым создавая океаническую циркуляцию, обратную той, которая преобладает сейчас. В настоящее время полярные воды опускаются, потому что они холодные и, следовательно, сжимаются. Более того, при их замораживании определенное количество соли покидает лед и тем самым увеличивает соленость окружающей воды. Таким образом, полярная вода опускается в глубины океана, ее место занимает более теплая и легкая вода из низких широт, которая движется к полюсу вдоль поверхности, и в то же время холодная вода океанских глубин вытесняется к экватору ниже поверхности. Но если бы экваториальные воды были настолько концентрированными, что постоянный приток высокосоленой воды продолжал опускаться до низких уровней, направление циркуляции пришлось бы изменить на противоположное. Время,

когда это произойдет, будет зависеть от хрупкого баланса между тенденциями снижения уровня холодной полярной воды и теплой соленой экваториальной воды.

Предположим, что при преобладании такой обратной циркуляции содержание CO_2 в атмосфере должно быть истощено, а воздух охлажден настолько, что концентрация экваториальных вод за счет испарения уже недостаточна для их оседания. Произошел бы обратный процесс, был бы установлен нынешний тип циркуляции, и вся земля испытала бы похолодание, потому что поверхность океана стала бы прохладной. Холодная поверхностная вода будет поглощать углекислый газ быстрее, чем это делала предыдущая теплая вода, поскольку тепло вытесняет газы из воды. Это еще больше ускорило бы охлаждение атмосферы, не только напрямую, но и за счет уменьшения поступления атмосферной влаги. Результатом стало бы оледенение. Но в конечном счете холодные воды более высоких широт поглотили бы весь углекислый газ, который они могли бы удержать, медленное продвижение к экватору в конце концов позволило бы холодной воде подняться на поверхность в низких широтах. Там тепло экваториального солнца и истощенный запас углекислого газа в воздухе объединились бы, чтобы заставить воду снова отдавать свой углекислый газ. Если бы к тому времени атмосфера была достаточно истощена, поднимающиеся воды в низких широтах могли бы выделять больше углекислого газа, чем поглощают холодные полярные воды. Таким образом, атмосферное давление увеличилось бы, воздух снова прогрелся бы, и возникла бы тенденция к дегляциации, или к межледниковью. Предполагается, что в такие периоды океаническая циркуляция не обращалась вспять, а просто была остановлена и замедлена усиливающимся теплом. Таким образом, предполагается, что межледниковые условия, подобные сегодняшним, или даже значительно более теплые, были созданы при нынешнем типе циркуляции.

Выброс углекислого газа в низких широтах не мог постоянно превышать поглощение в высоких широтах. После того, как окончательно установится нынешний тип кровообращения, что может занять десятки тысяч лет, они постепенно сравняются. Тогда условия, которые первоначально привели к изменению океанической циркуляции на противоположную, снова нарушили бы баланс; содержание углекислого газа в атмосфере истощилось бы; воздух стал бы холоднее; и цикл оледенения повторился бы. Каждый цикл был бы короче предыдущего, поскольку не только колебания уменьшились бы подобно колебаниям маятника, но и факторы, вызывающие основное истощение углекислого газа в атмосфере, уменьшились бы по интенсивности. Наконец, по мере того, как земли опускались в результате эрозии и затопления, а процессы выветривания соответственно замедлялись, воздух постепенно обретал способность накапливать углекислый газ; температура повышалась; и, наконец, океаническая циркуляция снова обращалась вспять. Когда теплые соленые воды низких широт наконец начнут опускаться и в глубинах океана возникнет поток теплой воды к полюсу, ледниковый период определенно подойдет к концу.

Эта гипотеза была так искусно разработана и содержит так много важных элементов, что едва ли можно изучать ее без глубокого восхищения. Мы считаем, что это имеет первостепенную ценность как шаг к истине, и особенно потому, что это подчеркивает великую функцию океанической циркуляции. Тем не менее, мы не можем принять его полностью по нескольким причинам, которые здесь можно изложить очень кратко. Большинство из них будут подробно рассмотрены на последующих страницах.

(1) Хотя изменение глубоководной циркуляции, несомненно, имело бы большое климатическое значение и привело бы к созданию теплого климата в высоких широтах, мы не видим прямых доказательств такого изменения. Столь же верно и то, что против этого нет убедительных доказательств, и нельзя упускать из виду возможность обратного хода событий. Однако, по-видимому, существуют и другие модификации атмосферной и океанической циркуляции, которые способны привести к наблюдаемым результатам.

(2) Существует много, и мы считаем, убедительных, доказательств того, что простое понижение температуры не привело бы к оледенению. Что, по-видимому, необходимо, так это изменения в атмосферной циркуляции и количестве осадков. Гипотеза об углекислом газе не получила столь полного развития с метеорологической точки зрения, как в других отношениях.

(3) Гипотеза об углекислом газе, по-видимому, требует, чтобы океаны были почти такими же солеными, как сейчас, в протерозойскую эру, во время первого известного оледенения. Чемберлин считает, что так оно и было, но постоянный приток соленого материала, приносимого в океан реками, и относительно небольшое отложение такого материала на морском дне, по-видимому, указывают на то, что ранние океаны должны были быть намного более свежими, чем современные.

(4) Гипотеза о диоксиде углерода не пытается объяснить незначительные климатические колебания, такие как послеледниковые стадии и исторические пульсации, но они, по-видимому, имеют ту же природу, что и ледниковые эпохи, отличаясь только степенью.

(5) Другой причиной колебаний при принятии гипотезы о диоксиде углерода в качестве полного объяснения колебаний ледникового периода является чрезвычайно сложный и ненаблюдаемый характер объяснения чередования ледниковых и межледниковых эпох и их постоянно уменьшающейся продолжительности.

(6) Самое важное, что изучение изменений погоды и климата в том виде, в каком они раскрываются в современных отчетах и в историческом прошлом, предполагает, что в настоящее время действуют определенные другие причины, которые способны объяснить оледенение, не прибегая к процессу, действие которого находится за пределами сферы наблюдения.

Эти соображения приводят к выводу, что гипотезу об углекислом газе и изменении океанической циркуляции следует рассматривать как предварительное, а не окончательное объяснение оледенения. Тем не менее, действие углекислого газа, по-видимому, является важным фактором, вызывающим более длительные колебания климата от одной геологической эпохи к другой. Вероятно, это играет значительную роль в подготовке к ледниковым периодам и в том, что другие факторы позволяют производить более быстрые изменения, которые так глубоко повлияли на органическую эволюцию.

III. *Форма Земли.* Другая важная причина изменения климата состоит из группы взаимосвязанных явлений, зависящих от движений земной коры. Что касается климатической силы изменений на землях, то среди студентов, изучающих климатологию и оледенение, существует практическое согласие. Вряд ли можно подвергать сомнению тот факт, что высота и протяженность континентов, расположение, размер и ориентация горных хребтов, а также открытие и закрытие океанических проходов в таких местах, как Панама, и последующее отклонение океанических течений оказывают глубокое влияние на климат. Такие изменения

могут происходить быстро, но их исчезновение обычно происходит медленно по сравнению с быстрыми пульсациями, которым климат был подвержен в исторические времена и на этапах отступления и наступления ледников, или даже по сравнению с эпохами, на которые были разделены плейстоцен, пермь и, возможно, более ранние ледниковые периоды.

Следовательно, хотя движения земной коры кажутся более важными, чем эксцентриситет земной орбиты или количество углекислого газа в воздухе, они не дают удовлетворительного объяснения колебаниям ледников, историческим пульсациям и особенно нынешним небольшим циклам климатических изменений. Все эти изменения связаны с относительно быстрым переходом от одной крайности к другой, в то время как подъем континента, который в лучшем случае является медленным геологическим процессом, по-видимому, не может быть остановлен в течение долгого, очень долгого времени. Следовательно, такой переворот, если действовать в одиночку, привел бы к относительно долгоживущему климату несколько экстремального типа. Это помогло бы объяснить длительные колебания или геологические колебания между мягким и однородным климатом, с одной стороны, и сложным и разнообразным климатом, с другой, но это не объяснило бы быстрых климатических пульсаций, которые тесно связаны с большими движениями земной коры. Это могло бы подготовить путь для них, но не могло стать их причиной. То, что этот вывод верен, подтверждается тем фактом, что обширные горные хребты, подобные тем, что были в конце юрского и мелового периодов, поднялись, не вызвав изменения ледникового климата. Более того, отмеченный пермский ледниковый период следует спустя долгое время после зарождения Герцинских гор и до возникновения других гор более позднего пермского происхождения.

IV. *Вулканическая гипотеза.* В поисках какой-либо причины изменения климата, которая была бы высокоэффективной и в то же время способной быстро и независимо изменяться, Эббот, Фаул, Хамфриз и другие,^[12] пришли к выводу, что недостающим фактором являются извержения вулканов. В "*Физике воздуха*" Хамфриз тщательно изучает влияние вулканической пыли на земную температуру. Он начинает с математического исследования размера частиц пыли и их количества после определенных извержений. Он демонстрирует, что способность таких частиц отражать свет короткой длины волны, исходящий от солнца, возможно, в тридцать раз больше, чем их способность удерживать тепло, излучаемое длинными волнами от земли. Поэтому считается, что если Кракатау были изрыгнет пыли каждый год или два, пылевая завеса может вызвать снижение примерно на 6°C. температуры поверхности Земли. Как и в любой подобной сложной проблеме, некоторые предположения автора могут быть подвергнуты сомнению, но это касается их количественной, а не качественной ценности. Представляется несомненным, что если бы вулканические взрывы были достаточно частыми и сильными, температура поверхности земли была бы значительно понижена.

Фактические наблюдения подтверждают этот теоретический вывод. Хамфриз собирает воедино и усиливает все, что он, Эббот и Фаул ранее говорили о наблюдениях за тепловым излучением солнца с помощью пирхелиометра. Такое обобщение соотношений между теплом, получаемым от солнца, и возникновением взрывных извержений вулканов не оставляет места для сомнений в том, что с частыми интервалами в течение последних полутора столетий небольшое понижение температуры на земле действительно происходило после крупных извержений. Тем не менее, это не подтверждает окончательный вывод Хамфриса о том, что "явлений внутри самой земли достаточно, чтобы изменить ее собственный климат ... что они и только они на самом деле снова и снова вызывали большие изменения в геологическом прошлом". Хамфриз настолько ясно видит важность чисто земной точки зрения, что бессознательно пренебрегает

космической точкой зрения и игнорирует важные солнечные факты, которые он сам приводит в другом месте довольно подробно.

В дополнение к этому, *степень*, в которой извержения вулканов влияют на температуру земли в целом, ни в коем случае не так очевидна, как тот факт, что какое-то влияние существует. Арктовски, ^{например}, [13], подготовил многочисленные кривые, показывающие изменение температуры месяц за месяцем в течение многих лет. Установлено, что в период с 1909 по 1913 год, который включает в себя великое извержение вулкана Катмай на Аляске, во время извержения преобладала низкая температура, но, как выразился Арктовски, на основе кривых для 150 станций во всех частях света: "Предположение о том, что эти аномально низкие температуры были вызваны завесой вулканической пыли, образовавшейся в результате извержения вулкана Катмай 6 июня 1912 года, полностью исключено. Если бы это было так, температура с этой даты снизилась бы, тогда как до этой даты она снижалась более года".

Кеппен, ^[14] в своем всеобъемлющем исследовании температуры за сто лет также приводит веский аргумент против идеи о том, что извержения вулканов играют важную роль в определении нынешней температуры земли. Извержение вулкана происходит внезапно. Какой бы эффект ни произвела пыль, выброшенная в воздух, он должен проявиться в течение нескольких месяцев или как только пыль получит возможность попасть в соответствующий регион. Когда пыль прибывает, произойдет быстрое понижение температуры на несколько градусов, которое, как предполагается, может быть объяснено пылью, а затем медленное повышение температуры. Если извержения вулканов действительно вызывали частое понижение температуры на земле за сто лет, изученных Кеппеном, то должно быть больше случаев, когда годовая температура была явно ниже нормы, чем когда она сильно отклонялась в противоположном направлении. На самом деле все обстоит наоборот.

Еще более важным аргументом является тот факт, что земля сейчас находится в промежуточном климатическом состоянии. На протяжении большей части геологического времени, как мы будем видеть снова и снова, климат земли был мягче, чем сейчас. Такие регионы, как Гренландия, не были местом скопления ледников, но были родиной видов растений, которые сейчас процветают в относительно низких широтах. Другими словами, земля сегодня находится лишь на полпути от ледниковой эпохи к тому, что можно назвать нормальным, мягким климатом земли — климатом, в котором контраст от зоны к зоне был намного меньше, чем сейчас, а нижний слой воздуха в среднем был теплее. Следовательно, кажется невозможным избежать вывода о том, что причина оледенения все еще действует со значительной, хотя и с меньшей эффективностью. Но вулканическая пыль, очевидно, в настоящее время не действует в сколько-нибудь заметной степени, поскольку верхние слои воздуха большую часть времени почти свободны от пыли.

Опять же, как предлагает Чемберлин, давайте предположим, что извержение Кракатау каждые два года приведет к ледниковому периоду. Если только самые опытные полевые исследователи ледниковых образований не ошибаются, различные ледниковые эпохи плейстоценового ледникового периода имели общую продолжительность по меньшей мере 150 000 лет, а возможно, и в два раза больше. Для этого потребовалось бы 75 000 извержений Кракатау. Но где находятся ямы и конусы таких извержений? Со времен плейстоценового оледенения не было времени стереть их с лица земли. Их слои вулканического пепла, предположительно, были

бы такими же объемными, как и слои ледников, но, по-видимому, здесь нет скоплений такого размера. Несмотря на то, что один и тот же вулкан подвергался неоднократным извержениям, кажется невозможным найти достаточное количество свежих вулканических обломков. Более того, вулканическая гипотеза пока не предложила какого-либо механизма систематических изменений ледникового периода. Следовательно, хотя гипотеза важна, мы должны продолжить поиск полного объяснения ледниковых колебаний, исторических пульсаций и нынешнего квазиледникового климата Земли.

Против *Гипотезы полярных блужданий*. Другая гипотеза, у которой есть некоторые приверженцы, особенно среди геологов, утверждает, что положение земной оси неоднократно смещалось в течение геологических периодов, что вызывало оледенение в регионах, которые сейчас не являются полярными. Астрофизики, однако, совершенно уверены, что никакая сила не могла бы радикально изменить соотношение между землей и ее осью, не изменив аналогичным образом орбиты планет до степени, которую было бы легко распознать. Более того, распределение центров оледенения как в пермский, так и в плейстоценовый периоды, по-видимому, не согласуется с этой гипотезой.

VI. *Гипотеза теплового солнца*. Единственными другими объяснениями климатических изменений ледникового и исторического периодов, которые сейчас, по-видимому, имеют большую силу, являются две различные и почти антагонистические солнечные гипотезы. Одна из них заключается в идее, что изменения в климате земли происходят из-за колебаний тепла, излучаемого солнцем, и, следовательно, температуры земли. Другая - это совершенно иная идея о том, что климатические изменения возникают из-за солнечных условий, которые вызывают *перераспределение атмосферного давления Земли* и, следовательно, вызывают изменения в ветрах, океанских течениях и особенно штормах. Эта вторая, или "циклоническая" гипотеза является темой книги, озаглавленной "*Земля и Солнце*", которая будет опубликована в качестве дополнения к настоящему тому. Это будет описано в следующей главе. Другую, или тепловую, гипотезу можно кратко отбросить. Несомненно, постоянное изменение количества тепла, излучаемого солнцем, навсегда изменило бы климат Земли. Однако нет абсолютно никаких доказательств каких-либо подобных изменений в течение геологического времени. Свидетельства о космической однородности Земли и о вековом развитии все говорит против этого. Предположим, что за тридцать или сорок тысяч лет солнце остыло настолько, что земля стала такой же холодной, как в ледниковую эпоху. Поскольку оледенение вскоре сменяется мягким климатом, потребуется некоторое вмешательство для повышения температуры солнца. Удар метеоритного дождя мог бы привести к этому, но это означало бы очень резкое нагревание, о котором нет свидетельств в геологической истории. На самом деле, существует гораздо больше свидетельств внезапного похолодания, чем внезапного нагрева. Более того, вероятность того, что такое воздействие будет повторяться снова и снова с такой силой, чтобы вернуть климат почти к тому состоянию, с которого он начался, и в то же время допустить незначительные изменения, которые вызывают вековое прогрессирование, находится далеко за пределами вероятности. Другое и не менее убедительное возражение против гипотезы тепловой формы солнечной активности сформулировано Хамфрисом следующим образом: "Очевидно, что изменение солнечной постоянной изменяет все температуры поверхности примерно на постоянный процент. Следовательно, уменьшение тепла от солнца в целом привело бы к уменьшению межзональных температурных градиентов; а это, в свою очередь, привело бы к менее интенсивной циркуляции атмосферы и менее обильным дождям или

снегопадам — прямо противоположным условиям, а именно обильным осадкам, наиболее благоприятным для обширного оледенения".

На этом мы заканчиваем рассмотрение основных гипотез относительно климатических изменений, за исключением гипотезы солнечного циклона, которая будет обсуждаться в следующей главе. Похоже, что изменения положения Земли в перигелии оказывают реальное, хотя и незначительное влияние на возникновение циклов продолжительностью около 21 000 лет. Изменения содержания углекислого газа в воздухе, вероятно, оказывают более важное, но чрезвычайно медленное влияние на геологические колебания. Колебания размеров, формы и высоты континентов постоянно вызывают всевозможные климатические осложнения, но не вызывают быстрых колебаний и пульсаций. Иногда кажется, что извержение вулканической пыли снижает температуру, но его способность объяснить сложные климатические изменения, зафиксированные в горных породах, вероятно, была преувеличена. Наконец, хотя незначительные изменения в количестве тепла, выделяемого солнцем, происходят постоянно и было продемонстрировано, что они оказывают климатическое воздействие, нет никаких доказательств того, что такие изменения являются основной причиной климатических явлений, которые мы пытаемся объяснить. Тем не менее, в связи с другими солнечными изменениями они могут иметь большое значение.

ГЛАВА IV

ГИПОТЕЗА СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛОНА

Прогресс науки состоит из огромного числа гипотез. Большинство из них умирают в раннем младенчестве. Некоторые выживают и какое-то время пользуются всеобщим признанием. Затем какая-нибудь новая гипотеза либо полностью разрушает их, либо показывает, что, хотя в них и содержатся элементы истины, они не являются всей правдой. В предыдущей главе мы обсудили группу гипотез такого рода и попытались справедливо указать на степень их истинности, насколько это еще можно определить. В этой главе мы изложим еще одну гипотезу, связь которой с современными климатическими условиями была полностью раскрыта в книге "*Земля и Солнце*"; в то время как ее связь с прошлым будет объяснена в настоящем томе. Предполагается, что эта гипотеза не заменяет другие, поскольку, поскольку они верны, их нельзя заменить. Кажется, что она просто объясняет некоторые из многих условий, которые другие гипотезы, по-видимому, не в состоянии объяснить. Предполагать, что его постигнет судьба более славная, чем у его предшественников, было бы самонадеянно. Лучшее, на что можно надеяться, - это то, что после того, как оно будет урезано, обогащено и модифицировано, оно сможет занять свое место среди шагов, которые в конечном итоге приведут к цели истины.

В этой главе новая гипотеза будет обрисована в общих чертах, чтобы в оставшейся части книги читатель мог оценить значение всего сказанного. Детали доказательства и методы работы будут опущены, поскольку они приведены в *Earth and Sun*. В целях краткости и ясности основные выводы будут изложены без оговорок и исключений, которые полностью разъяснены в этом томе. Здесь необходимо будет быстро остановиться на моментах, которые радикально расходятся с общепринятыми идеями и которые, следовательно, должны вызвать серьезные вопросы в умах вдумчивых читателей. Это, однако, является необходимым следствием попытки, предпринятой в этой книге, представить проблему климата в такой форме, чтобы аргументации

могли следовать вдумчивые студенты в любой отрасли знаний, а не только специалисты. Следовательно, специалиста можно просто попросить воздержаться от суждений до тех пор, пока он не ознакомится со всеми доказательствами, приведенными в книге *"Земля и Солнце"*, а затем осудить только те части, которые неверны, а не весь аргумент в целом.

Без дальнейших объяснений давайте перейдем к нашей главной проблеме. В области климатологии самым важным открытием последнего поколения является то, что изменения погоды зависят от изменений активности атмосферы Солнца. Работы великого астронома Ньюкомба и великого климатолога Кеппена неопровержимо показали, что температура поверхности Земли меняется в соответствии с изменениями количества и площади солнечных пятен.^[15] Работа Эббота показала, что количество тепла, излучаемого солнцем, также варьируется, и что в целом колебания соответствуют колебаниям солнечных пятен, хотя есть исключения, особенно когда пятен меньше всего. Здесь, однако, сразу возникает загадочный парадокс. Земля, безусловно, обязана своим теплом солнцу. Однако, когда солнце излучает больше всего энергии, то есть когда солнечных пятен больше всего, поверхность земли самая прохладная. Несомненно, в такое время земля получает больше тепла, чем обычно, и верхний воздух может быть теплее обычного. Здесь мы имеем в виду только воздух на поверхности Земли.

Другая большая группа исследователей показала, что атмосферное давление также меняется в зависимости от количества солнечных пятен. Некоторые участки земной поверхности имеют один вид колебаний во время появления множества солнечных пятен, а другие - наоборот. Эти различия носят систематический характер и во многом зависят от того, высокое атмосферное давление в рассматриваемом регионе или низкое. Конечным результатом является то, что при большом количестве солнечных пятен штормовая обстановка на земле усиливается, и атмосфера приходит в волнение. Это препятствует стабильным планетарным ветрам, таким как пассаты низких широт и преобладающие западные направления более высоких широт. Вместо этих регулярных ветров и хорошей погоды, которую они приносят, наблюдается тенденция к частым тропическим ураганам в более низких широтах и к более частым и сильным штормам обычного типа в широтах, где сейчас проживают самые прогрессивные страны мира. С изменением интенсивности штормов, естественно, меняется и количество осадков. Однако не во всех частях света штормовая погода усиливается и осадки выпадают более обильно, когда на солнце много пятен. Некоторые части изменяются противоположным образом. Таким образом, когда атмосфера Солнца особенно нарушена, контрасты между различными частями земной поверхности усиливаются. Например, север Соединенных Штатов и юг Канады становятся более штормовыми и дождливыми, как показано на рис. 2, и то же самое верно для Юго-запада и вдоль побережья южной Атлантики. Однако в центральной области в форме полумесяца, простирающейся от Вайоминга через Миссури до Новой Шотландии, количество штормов и количество осадков уменьшаются.

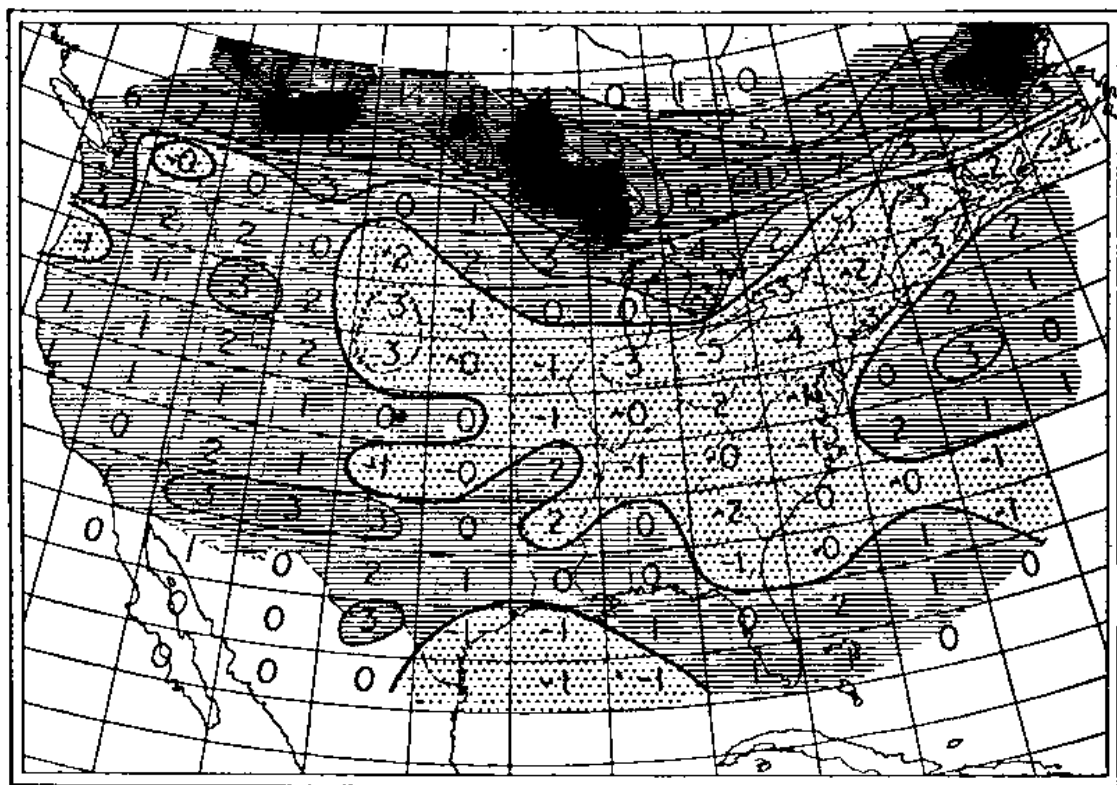


Рис. 2. Интенсивность максимумов и минимумов солнечных пятен.
(В честь Кульмера.)

Основано на ближайших минимумах солнечных пятен за девять лет и ближайших максимумах за девять лет за три цикла солнечных пятен с 1888 по 1918 год. Сильное затенение указывает на чрезмерную интенсивность штормов при большом количестве солнечных пятен. Цифры показывают среднегодовое количество штормов, при котором максимальное количество солнечных пятен за годы превышает минимальное.

Двумя определяющими факторами любого климата являются температура и атмосферное давление, поскольку они определяют ветры, штормы и, следовательно, количество осадков. Изучение температуры, по-видимому, показывает, что своеобразный парадокс горячего солнца и прохладной земли в значительной степени обусловлен повышенной штормовостью во время многих солнечных пятен. Поверхность земли нагревается солнечными лучами, но большинство лучей сами по себе не нагревают воздух, проходя через него. Воздух получает свое тепло в основном за счет тепла, поглощаемого водяным паром, который тесно смешан с его нижними частями, или за счет длинных тепловых волн, излучаемых землей после того, как она прогрелась солнцем. Чем быстрее воздух движется вдоль поверхности земли, тем меньше он нагревается и тем больше тепла забирает. Это звучит как противоречие, но не для тех, кто пробовал топить печь на открытом воздухе. Если воздух неподвижен, плита быстро нагревается, как и воздух вокруг нее. Если дует ветер, холодный воздух задерживает нагрев печи и не позволяет поверхности нагреваться так сильно, как это было бы в противном случае. Похоже, именно это происходит в больших масштабах, когда солнечных пятен много. Солнце на самом деле посылает на землю больше энергии, чем обычно, но воздух движется с такой необычной скоростью, что на самом деле немного охлаждает земную поверхность, унося дополнительное тепло до высоких уровней, где оно теряется в космосе.

Было много дискуссий о том, почему штормов так много, когда нарушается атмосфера солнца. Многие исследователи предполагали, что это произошло полностью и непосредственно из-за нагрева поверхности Земли солнцем. Это, однако, требует модификации по нескольким причинам. Во-первых, недавние исследования показывают, что во многих случаях изменения атмосферного давления предшествуют изменениям температуры и, по-видимому, вызывают их, изменяя направление ветра и вызывая штормы. Это противоположно тому, что произошло бы, если бы единственным фактором было воздействие солнечного тепла на поверхность земли. Во-вторых, если бы штормы были вызваны исключительно изменениями обычной солнечной радиации, которая поступает на землю в виде света и преобразуется в тепло, солнечный эффект должен был бы быть наиболее выраженным, когда центр видимого диска Солнца находится в наибольшем возмущении. На самом деле сила шторма особенно велика, когда края солнечного диска наиболее возмущены. Эти и другие факты приводят к выводу, что какое-то иное воздействие, помимо тепла, также должно играть определенную роль в возникновении шторма.

Поиск этого вспомогательного агентства поднимает много сложных вопросов, на которые пока невозможно ответить. В целом, масса свидетельств свидетельствует о том, что здесь замешаны какие-то электрические явления, хотя изменения в количестве ультрафиолетового излучения также могут иметь важное значение. Многие исследователи показали, что солнце испускает электроны. Хейл доказал, что солнце, как и земля, намагничено. Солнечные пятна также обладают магнитными полями, сила которых часто в пятьдесят раз превышает силу солнца в целом. Если электроны направляются на землю, они должны двигаться по криволинейным траекториям, поскольку они отклоняются магнитным полем солнца и снова магнитным полем земли. Отклонение солнца может привести к тому, что их воздействие будет наибольшим, когда пятна находятся вблизи края солнца; земное отклонение может вызвать концентрацию в полосах, примерно концентрических магнитным полюсам Земли. Эти условия соответствуют известным фактам.

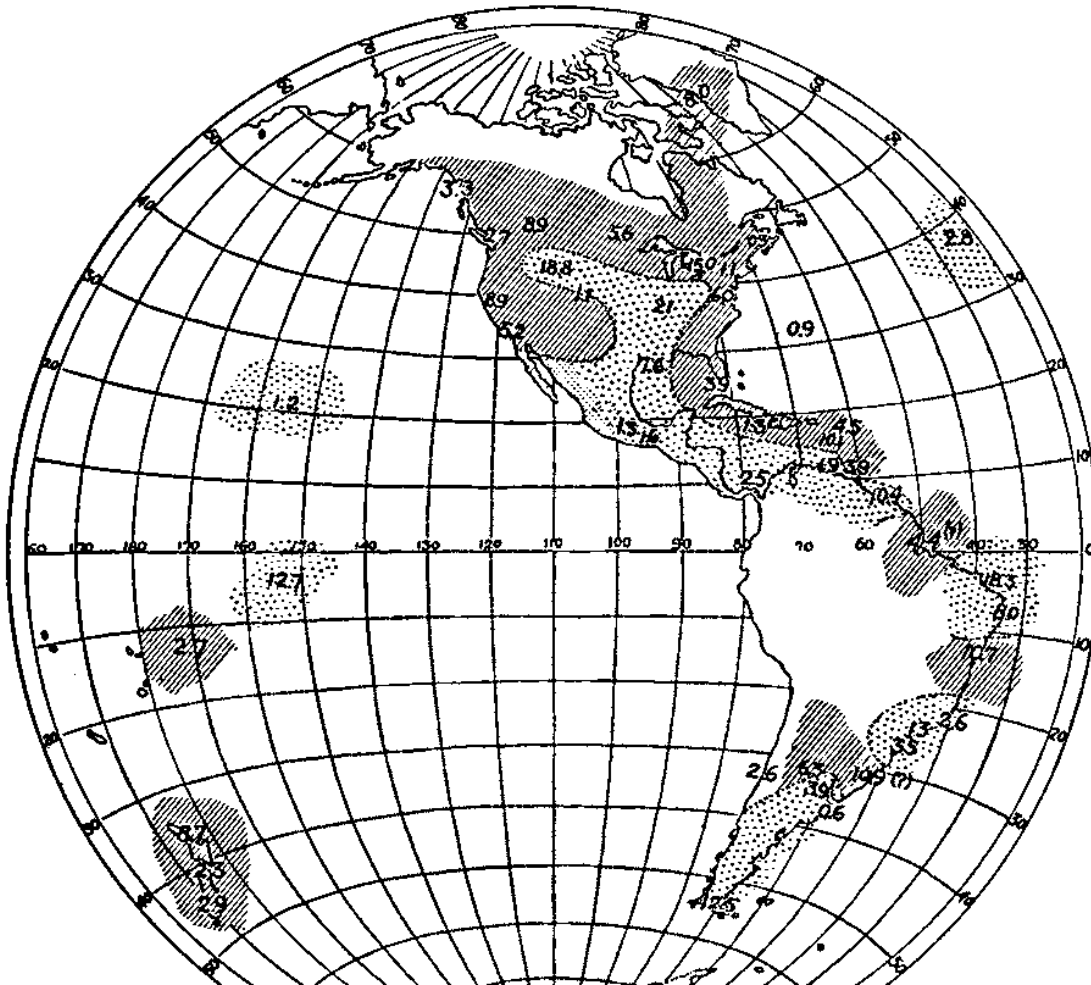
Дальше этого мы пока пойти не можем. Расчеты Хамфриса, по-видимому, указывают на то, что прямое электрическое воздействие солнечных электронов на атмосферное давление слишком мало, чтобы иметь заметное значение при усилении штормов. С другой стороны, особый способ, которым активность на окраинах солнца, по-видимому, коррелирует не только с атмосферным электричеством, но и с барометрическим давлением, по-видимому, является столь же убедительным доказательством в другом направлении. Возможно, солнечные электроны и их электрические волны оказывают косвенное воздействие, превращаясь в тепло или вызывая образование озона и конденсацию водяного пара в верхних слоях воздуха. Любой из этих процессов повысил бы температуру верхних слоев воздуха, поскольку там образовались бы озон и водяной пар, которые, как правило, действовали бы как покрывало для удержания тепла земли. Но любое такое изменение температуры верхних слоев воздуха повлияло бы на нижние слои воздуха через изменения атмосферного давления. Эти соображения приведены здесь, потому что вдумчивый читатель, вероятно, задастся вопросом, как солнечная активность может влиять на интенсивность штормов. Более того, в конце этой книги мы рассмотрим некоторые умозрительные вопросы, в которых будет использоваться электрическая гипотеза. В основных разделах этой книги не имеет значения, как вариации Солнца влияют на атмосферу Земли. Единственный существенный момент из таблицы 6 заключается в том, что, когда солнечная атмосфера активна, штормовая обстановка на земле усиливается, и это является предметом непосредственного наблюдения.

Давайте теперь исследуем связь между небольшими циклоническими колебаниями погоды и типами климатических изменений, известных как исторические пульсации и ледниковые флуктуации. Одним из наиболее интересных результатов недавних исследований является доказательство того, что циклы солнечных пятен в небольших масштабах представляют собой почти те же явления, что и исторические пульсации и колебания ледникового периода. Например, когда солнечных пятен много, интенсивность штормов заметно возрастает в поясе вблизи северной границы области наибольшей интенсивности штормов, то есть на юге Канады, а оттуда через Атлантику к Северному морю и Скандинавии. (Смотрите рис. 2 и 3.) Этому соответствует тот факт, что свидетельства климатических пульсаций в исторические периоды указывают на то, что регионы вдоль этого пути, например Гренландия, регион Северного моря и южная Скандинавия, посещались особенно частыми и сильными штормами в кульминационный момент каждой пульсации. Более того, наибольшие скопления льда в ледниковый период были на полюсной границе общих регионов, где сейчас штормы, по-видимому, усиливаются сильнее всего во время солнечной активности.



Рис. 3. Относительное количество осадков в периоды увеличения и уменьшения количества солнечных пятен

Цифры показывают процентное соотношение среднего количества осадков, на которое количество осадков в периоды увеличения количества осадков превышает их количество в периоды уменьшения количества осадков. Избыток или дефицит указывается в процентах от среднего значения. Данные об осадках от Walker: солнечные пятна и количество осадков.



Сильное затенение, больше дождя с увеличением количества пятен. Легкое затенение, больше дождя с уменьшением количества пятен. Нет данных для незатененных областей.

Цифры показывают процентное соотношение среднего количества осадков, на которое количество осадков в периоды увеличения количества осадков превышает их количество в периоды уменьшения количества осадков. Избыток или дефицит указывается в процентах от среднего значения. Данные об осадках от Walker: солнечные пятна и количество осадков.

Еще более ясными являются данные из других регионов, где штормы усиливаются во время большого количества солнечных пятен. Один из таких регионов включает юго-запад Соединенных Штатов, в то время как другой - Средиземноморский регион и полупустынные или пустынные районы Азии дальше на восток. В этих регионах бесчисленные руины и другие свидетельства показывают, что в кульминационный момент каждой климатической пульсации было больше штормов и осадков, чем в настоящее время, точно так же, как сейчас, когда солнце наиболее активно. В еще более ранние времена, когда лед скапливался дальше к северу, бассейны этих полупустынных регионов были заполнены озерами, берега которых до сих пор сохранились, рассказывая о значительно возросшем количестве осадков и предполагаемых штормах. Если мы вернемся еще дальше в геологические времена, к пермскому оледенению, то области, где льда скопилось больше всего, окажутся регионами, где тропические ураганы вызывают наибольшее количество осадков и наибольшее понижение температуры во время появления множества солнечных пятен. Исходя из этих и многих других данных, представляется вероятным, что исторические пульсации и колебания ледников являются не чем иным, как крупномасштабными циклами появления солнечных пятен. Одно из фундаментальных правил науки - рассуждать от известного к неизвестному, от близкого к далекому, от настоящего к прошлому. Следовательно, представляется целесообразным исследовать, могло ли какое-либо из климатических явлений прошлого возникнуть в результате усиления солнечных условий, которые сейчас, по-видимому, приводят к аналогичным явлениям в небольших масштабах.

Остальная часть этой главы будет посвящена *резюме* некоторых предварительных выводов, которые не имеют отношения к основной части этой книги, но которые применимы к заключительным главам. Там мы исследуем периодичность климатических явлений геологических эпох и зададимся вопросом, есть ли какие-либо основания предполагать, что активность солнца проявляла подобную периодичность. Это приводит к исследованию возможных причин возмущений в атмосфере Солнца. Обычно предполагается, что солнечные пятна, солнечные протуберанцы, яркие облака, известные как факулы, и другие явления, обозначающие возмущенное состояние солнечной атмосферы, вызваны какой-либо причиной внутри солнца. Однако ограничение этих явлений, особенно солнечных пятен, ограниченными широтами, как было показано в книге *"Земля и Солнце"*, по-видимому, не согласуется с внутренним солнечным происхождением, даже если расположение полос может быть нормальным для вращающегося земного шара. Довольно регулярная периодичность солнечных пятен, по-видимому, в равной степени не согласуется с внутренним происхождением. Опять же, солнечная атмосфера имеет два вида циркуляции: один - так называемые "рисовые зерна", а другой - пятна и сопутствующие им явления. Теперь рисовые зерна имеют вид, который можно было бы ожидать при циркуляции атмосферы, возникающей в результате потери тепла внешней частью газообразного тела, такого как солнце. По этим и другим причинам многие выдающиеся мыслители, от Вольфа до Шустера, считали, что солнечные пятна обязаны своей периодичности внешним причинам. Единственной возможной причиной, по-видимому, являются планеты, действующие либо через гравитацию, либо через силы электрического происхождения, либо через какую-то другую силу. Различные новые исследования, которые описаны в книге *"Земля и Солнце"*, подтверждают этот вывод. Главная трудность в принятии этого до сих пор заключалась в том, что, хотя можно было бы ожидать, что Юпитер из-за своих размеров будет доминировать в цикле солнечных пятен, его период в 11,86 года не был обнаружен. Цикл солнечных пятен, по-видимому, длится в среднем 11,2 года и был

назван 11-летним циклом. Тем не менее, новый анализ данных о солнечных пятнах показывает, что когда внимание сосредоточено на основных максимумах, которые в наименьшей степени подвержены замедлению или ускорению по другим причинам, очевидна периодичность, близко приближающаяся к периодичности Юпитера. Более того, когда эффекты Юпитера, Сатурна и других планет объединяются, они создают сильно изменчивую кривую, которая имеет необычайное сходство с кривой солнечных пятен. Метод, с помощью которого планеты влияют на атмосферу Солнца, все еще остается под вопросом. Это может быть через приливы, через прямое действие гравитации, через электромагнитные силы или каким-либо другим способом. Как бы то ни было, результатом, возможно, станут незначительные перепады атмосферного давления на солнце. Такие различия могут приводить в движение небольшие вихревые движения, аналогичные земным штормам, и они, предположительно, набирают обороты за счет собственной энергии солнца. Поскольку планетарные влияния различаются по силе из-за непрерывного изменения относительных расстояний и положений планет, атмосфера Солнца, по-видимому, подвержена циклоническим возмущениям различной степени выраженности. Хейлом было доказано, что циклонические возмущения, известные как солнечные пятна, становятся более сильно наэлектризованными по мере увеличения интенсивности. В то же время горячие газы, по-видимому, поднимаются из нижних частей солнечной атмосферы и тем самым заставляют солнце выделять больше тепла. Таким образом, тем или иным способом атмосфера Земли, по-видимому, приходит в движение и начинаются климатические циклы.

Если предыдущие рассуждения верны, любое возмущение солнечной атмосферы должно оказывать влияние на климат Земли. Если бы возмущение было достаточно сильным и имело надлежащую природу, оно могло бы привести к ледниковой эпохе. Планеты ни в коем случае не являются единственными телами, воздействующими на солнце, поскольку это тело поддерживает постоянно меняющиеся отношения с миллионами других небесных тел всех размеров, вплоть до огромных вселенных, и на всевозможных расстояниях. Если бы солнце и другая звезда приблизились достаточно близко друг к другу, несомненно, что солнечная атмосфера была бы возмущена гораздо сильнее, чем в настоящее время.

Здесь мы должны оставить циклоническую гипотезу климата и еще раз отсылать читателя к *Земле и Солнцу* для получения более подробной информации. В оставшейся части этой книги мы обсудим природу климатических изменений прошлых времен и исследуем их связь с различными климатическими гипотезами, упомянутыми в последних двух главах. Затем мы исследуем возможность того, что солнечная система когда-либо находилась достаточно близко к какой-либо из звезд, чтобы вызвать заметные возмущения солнечной атмосферы. Мы завершим наше исследование, исследовав сложный вопрос о том, почему движения земной коры, такие как поднятие континентов и горных цепей, обычно происходили одновременно с большими климатическими колебаниями. Это было бы не так удивительно, если бы не то, что климатические явления, по-видимому, состояли из очень сложных циклов, в то время как подъем был относительно устойчивым движением в одном направлении. Мы найдем некоторые свидетельства того, что солнечные возмущения, которые, по-видимому, вызывают климатические изменения, также имеют отношение к движениям земной коры.

ГЛАВА V

ИСТОРИЧЕСКИЙ КЛИМАТ^[16]

Теперь мы готовы рассмотреть климат прошлого. Первый период, требующий внимания, - это несколько тысяч лет, охватываемых письменной историей. Как ни странно, условия в течение этого времени известны с меньшей точностью, чем условия геологических периодов, в сотни раз более отдаленных. И все же, если со времен древних вавилонян и с последней из послеледниковых стадий произошли заметные изменения, они имеют огромное значение не только из-за их возможных исторических последствий, но и потому, что они преодолевают разрыв между небольшими изменениями климата, которые наблюдаются в течение одной жизни, и большими изменениями, известными как ледниковые эпохи. Только преодолев этот разрыв, мы можем определить, существует ли какая-либо генетическая связь между большими изменениями и малыми. Полное обсуждение климата исторических времен здесь нецелесообразно, поскольку он был подробно рассмотрен во множестве других публикаций.^[17] Нашим наиболее выгодным курсом, по-видимому, было бы сначала рассмотреть общую тенденцию общественного мнения, а затем рассмотреть основные возражения против каждой из основных гипотез.

В жарких дебатах по этой проблеме последних десятилетий идеи географов, похоже, претерпели почти те же метаморфозы, что и идеи геологов относительно климата гораздо более ранних времен.

Как хорошо известно каждому геологу, на заре геологии люди верили в однородность климата, то есть предполагалось, что с момента завершения первоначального творческого акта не произошло никаких важных изменений. Эта точка зрения быстро исчезла и была вытеснена гипотезой о прогрессирующем охлаждении и высыхании, гипотезой, которая имела много общего с развитием гипотезы о туманностях и которая, в свою очередь, была значительно усилена этой гипотезой. Однако обнаружение свидетельств широко распространенного континентального оледенения потребовало изменения этой точки зрения, и последующие годы выявили постоянно растущее число ледниковых или, по крайней мере, прохладных периодов, распределенных почти на все геологическое время. Более того, почти каждый год появляются новые свидетельства огромной сложности ледниковых периодов, эпох и стадий. Таким образом, на протяжении многих десятилетий геологи все больше и больше склонялись к мысли, что, несмотря на удивительное единообразие, если рассматривать его в сравнении с космическими возможностями, климат прошлого был крайне нестабильным с точки зрения органической эволюции, и его изменения были всех степеней интенсивности.

Географы в последнее время обсуждают реальность исторических изменений климата точно так же, как геологи обсуждают реальность ледниковых эпох и стадий. Напрашивается несколько гипотез, но все они могут быть сгруппированы под тремя заголовками, а именно: гипотезы (1) прогрессирующего высыхания, (2) климатической однородности и (3) пульсаций. Широко пропагандировалась гипотеза о прогрессирующем высыхании. Во многих более сухих частях света, особенно между 30 ° и 40 ° от экватора, и преимущественно в западной и центральной Азии и на юго-западе Соединенных Штатов, почти бесчисленные факты, по-видимому, указывают на то, что две или три тысячи лет назад климат был значительно более влажным, чем в настоящее время. Свидетельства включают старые берега озер, следы высохших источников,

дороги в местах, которые сейчас слишком сухи для движения караванов, другие дороги, которые делают крюк вокруг высохших озерных русел, где озер сейчас нет, и фрагменты мертвых лесов, простирающихся на сотни квадратных миль, где деревья сейчас не могут расти из-за нехватки воды. Еще более веским доказательством являются древние руины, сотни из которых расположены в местах, которые сейчас настолько засушливы, что лишь ничтожная часть прежних обитателей могла найти воду. Руины Пальмиры в Сирийской пустыне показывают, что когда-то это, должно быть, был город, подобный современному Дамаску, с населением в сто или двести тысяч человек, но сейчас его водоснабжения хватает только на одну или две тысячи. Все попытки увеличить подачу воды дали лишь незначительный эффект, и вода, как известно, содержит серу, тогда как в прежние времена, когда ее было в избытке, она славилась своим совершенством. Описанию подобных руин можно было бы посвятить сотни страниц. Некоторые из них даже более примечательны своей сухостью, чем Нийя, стоянка в пустыне Тарим в китайском Туркестане. Тем не менее, свидетельства высыхания в течение 2000 лет настолько убедительны, что даже такой осторожный и консервативный человек, как Ханн,^[18] произносит это как "überzeugend".

Единственная цитата из партитур, которую можно было бы использовать, проиллюстрирует выводы некоторых наиболее тщательных археологов.^[19]

Среди регионов, которые когда-то были густонаселенными и высокоцивилизованными, но которые сейчас пустыни и безлюдны, мало таких, которые были более тесно связаны с зарождением нашей собственной цивилизации, чем пустынные районы Сирии и северной Аравии. Только в последние годы были полностью признаны огромные масштабы и огромное значение этой исчезнувшей цивилизации, и были предприняты попытки уменьшить масштабы неисследованной территории и выяснить, какая часть территории, которая долгое время была известна как пустыня, ранее была пригодна для жизни. Результаты исследований последних двадцати лет были самыми удивительными в этом отношении. Было обнаружено, что практически вся обширная территория, лежащая между прибрежной полосой восточного Средиземноморья и Евфратом, обозначенная на картах как Сирийская пустыня, площадью чуть более 20 000 квадратных миль, была более густонаселенной, чем любая территория аналогичных размеров в Англии или Соединенных Штатах сегодня, если исключить непосредственную близость крупных современных городов. Также было обнаружено, что огромная пустынная территория, лежащая к востоку от Палестины и простирающаяся на восток и юг в страну, которую мы знаем как Аравию, также была густонаселенной страной. Как далеко простирались эти заселенные регионы в древности, до сих пор неизвестно, но самые отдаленные исследования в этих направлениях не привели к обнаружению руин и других признаков прежнего заселения.

Путешественник, пересекший заселенное и более или менее густонаселенное побережье северной Сирии и спустившийся в узкую плодородную долину Оронта, во время любого дальнейшего путешествия на восток встречает неровную гряду известняковых холмов, лежащих к северу и югу и тянущихся на северо-восток почти на полпути к Евфрату. Высота этих холмов составляет около 2500 футов, изредка поднимаясь пиками от 3000 до 3500 футов над уровнем моря. Они серые и лишены какой-либо видимой растительности. Поднимаясь в горы, путешественник с удивлением обнаруживает на каждом шагу остатки работы человеческих рук, мощные дороги, стены, разделявшие поля, массивные террасы.

Вскоре он натывается на небольшой заброшенный и частично разрушенный городок, состоящий из больших и маленьких зданий, построенных из прекрасно обработанных блоков известняка, все они возвышаются из голой скалы, образующей гребни холмов. Если он поднимется на возвышенность поблизости, то будет еще больше удивлен, увидев похожие руины, раскинувшиеся во всех направлениях. Он может насчитать десять, пятнадцать или двадцать, в зависимости от того, откуда он смотрит. Издалека часто трудно поверить, что это необитаемые места; но при ближайшем рассмотрении оказывается, что нежная рука времени или грубое прикосновение землетрясения коснулись каждого здания. Некоторые города сохранились лучше других; некоторые здания вполне совершенны, если бы не их деревянные крыши, снесенные временем, другие представляют собой живописные руины, в то время как третьи все еще находятся вровень с землей. На вершине далекого холма возвышаются руины языческого храма, а на вершине какого-то высокого хребта лежат руины большого христианского монастыря. Милую за милей этой бесплодной серой страны можно пройти, не встретив ни единого человеческого существа. День за днем можно путешествовать из одного разрушенного города в другой, не видя ничего зеленого, кроме пары тербиновых деревьев, стоящих среди руин, которые пустили свои корни в землю, все еще сохранившуюся в фундаменте какого-нибудь древнего здания. Нигде не видно почвы, за исключением нескольких углублений в скале, из которых она не могла быть вымыта проливными дождями в сезон дождей; однако все руины окружены остатками прессов для изготовления масла и вина. На этих высоких плато был обнаружен только один оазис.

Двигаясь на восток от этой гряды холмов, спускаешься в пологую местность, простирающуюся на многие мили в сторону Евфрата. У восточного подножия холмов оказываешься в совершенно другой стране, поначалу довольно плодородной и усеянной частыми деревнями с домами с плоскими крышами. Здесь практически все остатки древних времен были уничтожены за века строительства и перестройки. За этой узкой плодородной полосой почва становится все более сухой и бесплодной, пока в настоящее время не образуется другой вид пустыни - холмистая пустошь мертвой почвы. Лишь немногие стены, башни или арки нарушают монотонность непрерывного пейзажа; но внимательный исследователь при ближайшем рассмотрении обнаружит, что в древности этот регион был более густонаселенным, чем холмистая местность на западе. Каждая неровность поверхности указывает на местоположение города, некоторые из которых имеют значительную протяженность.

Мы можем сделать определенные выводы относительно прежних условий в самой стране. На северных холмах была почва там, где ее сейчас нет, потому что здания теперь имеют незаконченные фундаменты, которые не предполагалось видеть; почва во впадинах без выходов стала глубже, чем была раньше; есть сотни оливковых и винных давилок в местах, где ни одно дерево или виноградная лоза теперь не могли найти опоры; и есть склоны холмов с разрушенными стенами террас, возвышающимися одна над другой без каких-либо признаков земли рядом с ними. Там также был большой природный запас воды. Как на севере, так и на юге мы находим пересохшие русла рек, ручьев и заводей с песком, галькой и истертыми камнями, но воды в них нет с конца года до другого. Мы находим мосты через эти пересохшие ручьи и грубо сделанные стиральные доски вдоль их берегов прямо под заброшенными городами. Многие мосты перекинута через русла ручьев, в которых редко или вообще никогда не бывает воды, и являются наглядным свидетельством

произошедших значительных климатических изменений. Есть устья колодцев и колодезные домики, а также надписи, относящиеся к источникам; но ни колодцев, ни родников сегодня не существует, за исключением самых редких экземпляров. Во многих домах были высеченные в скале цистерны, которые никогда не были достаточно большими, чтобы подавать воду более чем на короткий период, и соответствовали цистернам, которые были у большинства наших недавних предков, которые были скорее для удобства, чем для зависимости. Некоторые города на юге Сирии были обеспечены большими общественными водохранилищами, но они недостаточно велики, чтобы снабжать водой их первоначальное население. Высокие плато, конечно, были лишены орошения; но даже в низменных районах нет никаких признаков того, что орошение когда-либо практиковалось; и каналы для этой цели не могли полностью исчезнуть. В непосредственной близости росли леса, из лесов производились бревна огромной длины и толщины; ибо на севере и северо-востоке практически у всех зданий были деревянные крыши, деревянные промежуточные этажи и другие элементы из дерева. В дорогостоящих зданиях, таких как храмы и церквушки, использовались большие деревянные балки; но древесина использовалась в гораздо больших количествах в частных домах, магазинах, конюшнях и амбарах. Если бы древесины не было в изобилии и она не была дешевой, а значит, выращивалась поблизости— строители переняли бы строительные методы своих соседей на юге, которые использовали очень мало дерева и разработали самый совершенный тип каменной архитектуры, который когда-либо видел мир. И здесь наблюдается странная аномалия: северная Сирия, где в древности использовалось так много древесины, сейчас абсолютно безлесна; в то время как в горах южной Сирии, где в древности деревья, должно быть, было мало, раз жители вынуждены были использовать почти исключительно камень, все еще есть дубовые и сосновые рощи, а путешественники полувековой давности сообщали о больших каштановых лесах.^[20] Совершенно очевидно, что на большей части Сирии когда-то были почва, леса, источники и реки, в то время как сейчас ничего этого нет, и что в древние времена осадков выпадало гораздо больше и лучше распределялось, чем сейчас.

Тщательная работа профессора Батлера особенно интересна из-за ее контраста с расплывчатыми заявлениями тех, кто верит в климатическое единообразие. Насколько мне известно, ни один противник гипотезы климатических изменений никогда даже не пытался путем тщательного статистического анализа показать, что в древности запасы воды в таких руинах были не больше, чем в настоящее время. Самое большее, что было сделано, - это предположить, что, возможно, здесь были источники воды, которые сейчас неизвестны. Конечно, это могло быть правдой в единичном случае, но вряд ли это могло быть так во многих сотнях или тысячах руин.

Хотя аргументы в пользу изменения климата за последние две тысячи лет кажутся слишком вескими, чтобы их игнорировать, сама их сила, по-видимому, была источником ошибок. Большое количество людей пришли к поспешному выводу, что изменения, которые, по-видимому, произошли в определенных регионах, произошли повсеместно и что они заключались в постепенном иссушении.

Многие наблюдатели, столь же осторожные, как и те, кто верит в прогрессирующее высыхание, указывают на свидетельства засушливости в прошлые времена в тех самых регионах, где другие находят доказательства наличия влаги. Уровень таких озер, как Каспийское море, опустился до такого низкого уровня, что часть их нынешнего дна обнажилась и использовалась в качестве площадок для зданий, руины которых сохранились до сих пор. В других местах, например, в горах Тянь-Шаня, оросительные каналы находятся в местах, где в настоящее время, по-видимому, нет необходимости в орошении. В Сирии и Северной Африке в первые века христианской эры римляне проявили беспрецедентную активность в строительстве огромных акведуков и орошении земель, которые тогда, по-видимому, нуждались в воде почти так же сильно, как и сегодня. Свидетельств такого рода предостаточно, и они столь же убедительны, как и свидетельства более влажных условий в прошлом. Это превосходно изложено, например, во всеобъемлющей и умело написанной монографии Лейтера о климате Северной Африки.^[21] Доказательства, приведенные там и в других местах, побудили многих авторов решительно отстаивать гипотезу о климатическом единообразии. Они поступили точно так же, как и сторонники прогрессивных изменений, и распространили свои выводы на весь мир и на все исторические времена.

Гипотезы об однородности климата и о прогрессивных изменениях, по-видимому, основаны на надежных доказательствах. Может показаться, что они диаметрально противоположны друг другу, но это только в том случае, если не удастся сгруппировать различные линии доказательств в соответствии с их датами и в соответствии с типами климата, в котором они оказались. Когда факты должным образом сгруппированы во времени и пространстве, оказывается, что свидетельства влажных условий на исторических землях Средиземноморья обнаруживаются в определенные периоды; например, за четыреста или пятьсот лет до Рождества Христова, во времена Христа и в 1000 году нашей эры. Свидетельства другого рода, напротив, достигают высшей точки в другие эпохи, например, около 1200 года до нашей эры и в седьмом и тринадцатом веках после Рождества Христова. Это также наблюдается в промежутки от кульминации влажной эпохи до кульминации засушливой, поскольку в это время климат становился все суше, а люди испытывали стресс. По-видимому, так было в период со второго по четвертый века нашей эры. Северная Африка и Сирия, должно быть, тогда были значительно лучше орошены, чем в настоящее время, как явствует из яркого описания Батлера; но они постепенно становились суше, и естественный эффект на энергичный, компетентный народ, такой как римляне, заключался в том, что они строили многочисленные инженерные сооружения для обеспечения необходимой воды.

Только что изложенные соображения привели к третьей гипотезе - гипотезе пульсирующих климатических изменений. Согласно этому, климат Земли не стабилен и не меняется равномерно в одном направлении. Похоже, что она колеблется взад и вперед не только небольшими волнами, которые мы наблюдаем из года в год или из десятилетия в десятилетие, но и гораздо большими волнами, которые длятся сотни или даже тысячу лет. Они, в свою очередь, по-видимому, сливаются с более крупными волнами и накладываются на них, которые образуют ледниковые стадии, ледниковые эпохи и оледенелые периоды. В настоящее время, по-видимому, нет способа определить, имеет ли место общая тенденция к засушливости или к оледенению. Седьмой век нашей эры, по-видимому, был самым засушливым временем за весь исторический период — явно засушливее нынешнего, — но тринадцатый век был почти таким же засушливым, а двенадцатый или тринадцатый до Рождества Христова, возможно, были очень засушливыми.

Лучшая проверка гипотезы - это фактические измерения. В случае гипотезы пульсации, к счастью, мы можем применить эту проверку с помощью деревьев. Рост растительности зависит от многих факторов — почвы, воздействия, ветра, солнца, температуры, дождя и так далее. В засушливом регионе наиболее важным фактором, определяющим, как будет меняться рост дерева из года в год, является запас влаги в течение нескольких месяцев наиболее быстрого роста.^[22] Работа Дугласа^[23] и других показала, что в Аризоне и Калифорнии толщина годовых колец служит надежным показателем количества влаги, доступной в период роста. Это особенно верно, когда рост за несколько лет берется за единицу измерения и сравнивается с ростом за аналогичное количество лет до или после. Там, где используется длинный ряд лет, необходимо внести поправки, чтобы устранить влияние возраста, но это может быть сделано с помощью математических методов значительной точности. Трудно определить, был ли климат в начале и в конце жизни дерева одинаковым, но легко можно определить, были ли пульсации во время роста дерева. Если у большого количества деревьев из разных частей данного района за определенный период образовались толстые кольца, а затем тонкие в течение ста лет, после чего кольца снова становятся толстыми, мы, по-видимому, можем с уверенностью заключить, что деревья пережили длительный засушливый период. Полные причины такого мнения и подробности относительно методов оценки климата по росту деревьев приведены в *"Климатический фактор"*.

Результаты, изложенные в этом томе, можно резюмировать следующим образом: В течение 1911 и 1912 годов под эгидой Института Карнеги в Вашингтоне были проведены измерения толщины годовых колец на пнях примерно 450 деревьев секвойи в Калифорнии. Возраст этих деревьев варьировался от 250 до почти 3250 лет. Возраст подавляющего большинства из них превышал 1000 лет, семидесяти девяти - 2000 лет и трем - 3000. Даже там, где доступно всего несколько деревьев, запись на удивление надежна, за исключением случаев, когда происходят случайные аварии. Там, где число приближается к 100, случайные отклонения в значительной степени исключены, и мы можем принять запись со значительной уверенностью.

Соответственно, мы можем сказать, что в Калифорнии у нас есть довольно точные данные о климате за 2000 лет и приблизительные данные еще за 1000 лет. Окончательные результаты измерений калифорнийских деревьев показаны на рис. 4, где сплошной линией обозначены климатические изменения в Калифорнии за 3000 лет. Верхние части линии указывают на дождливую погоду, нижние - на сухую. Изучение этой кривой показывает, что в течение 3000 лет, по-видимому, происходили климатические изменения, более важные, чем любые, имевшие место за последнее столетие. Для того, чтобы выявить детали более четко, более надежным части Калифорния кривая, от 100 до н. э. до настоящего времени, была воспроизведена на фиг. 5. Это идентично соответствующей части рис. 4, за исключением того, что вертикальный масштаб в три раза больше.

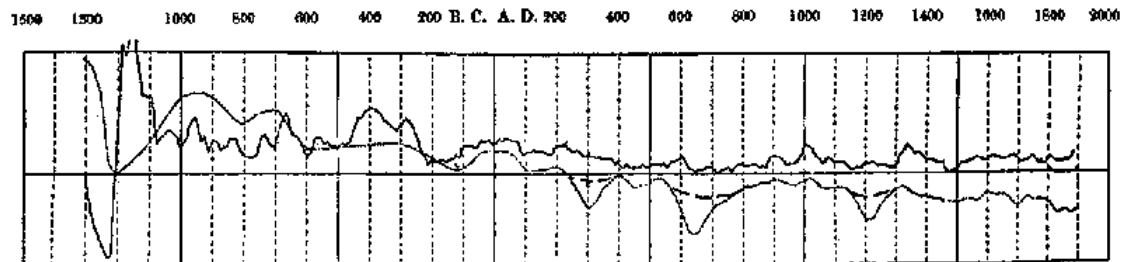


Рис. 4. Изменения климата в Калифорнии (сплошная линия) и в западной и Центральной Азии (пунктирная линия).

Обратите внимание. Кривые на рис. 4 и 5 воспроизведены в том виде, в каком они были опубликованы в "Солнечной гипотезе" в 1914 году. Более поздние работы, однако, показали, что на азиатской кривой пунктирные линии, которые были предварительно нанесены в 1914 году, вероятно, более близки к правильным, чем пунктирные линии. Еще одно свидетельство указывает на то, что азиатский изгиб по своим основным чертам почти аналогичен калифорнийскому.

Кривая роста деревьев в Калифорнии, по-видимому, верно отражает общие черты климатических пульсаций в Средиземноморском регионе. Первоначально этот вывод был основан на сходстве между сплошной линией на рис. 4, представляющей рост деревьев, и пунктирной линией, представляющей изменения климата в регионе восточного Средиземноморья, которые были сделаны на основе изучения руин и истории до того, как в Америке были проведены какие-либо работы по этому вопросу.^[24] Пунктирная линия здесь воспроизведена из-за ее исторического значения как этапа в изучении климатических изменений. Если бы ее перерисовали сегодня на основе знаний, приобретенных за последние двенадцать лет, она была бы гораздо больше похожа на кривую дерева. Например, засушливый период, о котором свидетельствует наклон пунктирной линии около 300 г. н.э., был основан в основном на данных профессора Батлера о скудости надписей и руин, относящихся к этому периоду в Сирии. В недавней статье, из которой была приведена длинная цитата, он показывает, что более поздняя работа доказывает, что такой нехватки не существует. С другой стороны, это подчеркнуло заметный и внезапный упадок цивилизации и населения, произошедший вскоре после 600 г. н.э. Он пришел к тому же выводу, к которому настоящие авторы пришли на совершенно иных основаниях, а именно, что провал пунктирной линии около 300 г. н.э. не оправдан, тогда как провал около 630 г. н.э. чрезвычайно важен. Аналогичным образом, работа Штейна^[25] по Центральной Азии ясно показывает, что контраст между водоснабжением около 200 г. до н. э. и в предшествующие и последующие столетия был больше, чем предполагалось на основе скудных свидетельств, когда пунктирная линия на рис. 4 был нарисован в 1910 году.

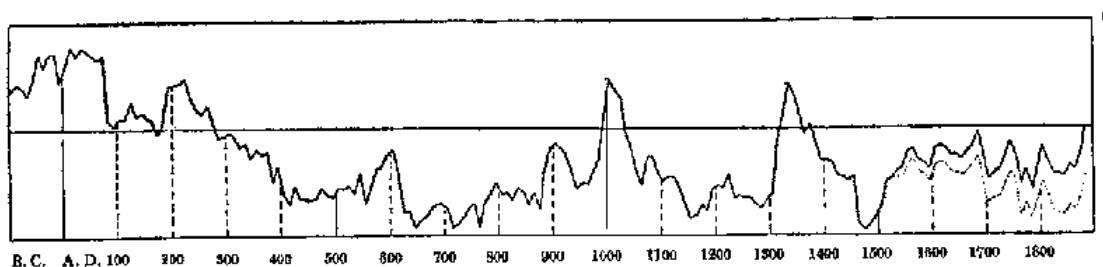


Рис. 5. Изменения климата Калифорнии за 2000 лет, измеряемые ростом деревьев секвойи.

Рис. 5 такой же, как и более поздняя часть рис. 4, за исключением того, что вертикальный масштаб был увеличен в три раза. Представляется вероятным, что пунктирная линия справа более близка к правильной, чем сплошная линия. В течение тридцати лет, прошедших с

момента окончания кривой, общая тенденция, по-видимому, в целом была несколько восходящей.

Поскольку кривизна калифорнийских деревьев - единственная из пока доступных непрерывных и подробных записей климата за последние три тысячи лет, она заслуживает самого тщательного изучения. Особенно необходимо определить степень точности, с которой рост деревьев отражает (1) местное количество осадков и (2) количество осадков в отдаленных регионах, таких как Палестина. Возможно, лучшим способом определить эти вопросы является стандартный математический метод определения коэффициентов корреляции. Если два явления изменяются в совершенном унисоне, как в случае поворота колес и движения автомобиля, когда тормоза не задействованы, коэффициент корреляции равен 1,00 и является положительным, когда автомобиль движется вперед, и отрицательным, когда он движется назад. Если нет никакой связи между двумя явлениями, как в случае с количеством миль, пробегаемых данным автомобилем за год, и количеством цыплят, вылупившихся за тот же период, коэффициент равен нулю. Частичная зависимость, при которой в дело вступают другие факторы, представлена коэффициентом от нуля до единицы, как в случае движения автомобиля и расхода бензина. В данном случае связь очень очевидна, но на нее влияют другие факторы, включая неровность и уклон дороги, интенсивность движения, количество остановок, мастерство водителя, состояние и загруженность автомобиля, а также погодные условия. Такие частные взаимосвязи являются тем видом, для которого коэффициенты корреляции наиболее полезны, поскольку размер коэффициентов показывает относительную важность различных факторов. Коэффициент корреляции, в четыре раза превышающий вероятную ошибку, который всегда можно определить по формуле, хорошо известной математикам, обычно считается доказательством какой-то связи между двумя явлениями. Когда отношение между коэффициентом и ошибкой возрастает до шести, взаимосвязь считается сильной.

Мало кто усомнится в том, что существует связь между ростом деревьев и количеством осадков, особенно в климате с длительным летним засушливым сезоном, как в Калифорнии. Но рост деревьев также зависит от их положения, степени затенения, температуры, наличия насекомых-вредителей, фитофтороза, ветра с его склонностью ломать ветви и ряда других факторов. Более того, хотя дождь обычно способствует росту, большие перепады температуры относительно менее полезны, чем более умеренные количества. Опять же, корни дерева могут черпать воду из таких глубоких источников, что ни засуха, ни чрезмерные дожди не оказывают особого эффекта в течение нескольких лет. Следовательно, сравнивая рост огромных секвой с количеством осадков, мы должны ожидать достаточно высокого коэффициента корреляции, чтобы быть убедительными, но явно ниже 1,00. К сожалению, нет данных о количестве осадков там, где растут секвой, ближайший длительный рекорд приходится на Сакраменто, почти в 200 милях к северо-западу и близко к уровню моря, а не на высоте около 6000 футов.

Применяя метод коэффициентов корреляции к годовому количеству осадков в Сакраменто и росту секвой с 1863 по 1910 год, мы получаем результаты, приведенные в таблице 3. Деревья, указанные в разделе А таблицы, росли в умеренно сухих местах, хотя почва была довольно глубокой, что, по-видимому, важно для секвой. В этом случае, как и во всех остальных, количество осадков считается с июля по июнь, что практически означает с октября по май, поскольку летом дождей почти не бывает. Таким образом, рост деревьев в 1861 году сравнивается с количеством осадков предыдущего сезона дождей, 1860-1861 годов, или нескольких предыдущих сезонов дождей, как указано в таблице.

Таблица 3

коэффициенты корреляции между осадками
и рост секвойи в Калифорнии^[26]

(*p*)=коэффициент корреляции

(*e*)=вероятность ошибки

(*p/e*)=соотношение коэффициента на возможные ошибки

А. Сакраменто осадков и рост 18 Секвойи в сухих местах, 1861-1910

	(<i>P</i>)	(<i>E</i>)	(<i>P/E</i>)
1 год осадков	-0.059	±0.096	0.6
2 лет осадками	+0.288	±0.090	3.2
3-х лет количество осадков	+0.570	±0.066	8.7
4 лет осадками	+0.470	±0.076	6.2

Б. Сакраменто осадков и рост 112 Секвойи в основном во влажных местах, 1861-1910

3 лет осадками	+0.340	±0.087	3.9
4 лет осадками	+0.371	±0.084	4.5
5 лет осадками	+0.398	±0.082	4.9
6 лет осадками	+0.418	±0.079	5.3
7 лет осадками	+0.471	±0.076	6.2
8 лет дождевой	(+0.520)	±0.071	7.3
9 лет осадками	+0.575	±0.065	8.8
10 лет осадками	+0.577	±0.065	8.8

С. Сакраменто осадков и Рост 80 секвойи во влажных местах, 1861-1910

10 лет осадками	+0.605	±0.062	9.8
-----------------	--------	--------	-----

Д. годовой Секвойя роста и выпадения осадков в предшествующие 5 лет на станциях на Южной железной дороге

Лет	Высота над уровнем моря (футов)	Количество осадков(дюймов)	Правильно определенное расстояние от секвойи (миль)	(<i>r</i>)	(<i>e</i>)	(<i>r/e</i>)
-----	---------------------------------	----------------------------	---	--------------	--------------	----------------

)	Сакрамен то,	1861-1910	70	19.40	200	+0.398	±0.081
4.9	Колфакс, Колфакс, Колфакс 1871-1909	2400	48,94	200	+0,122	±0,113	1,1
Саммит,	1871-1909	7000	48,07	200	+0,148	±0,113	1,3
Траки,	1871-1909	5800	27,12	200	+0,300	±0,105	2,9
Бока,	1871-1909	5500	20.34	200	+0.604	±0.076	8.0
Виннемак ка,	1871-1909	4300	8.65	300	+0.492	±0.089	5.5

В первой строке раздела А коэффициент корреляции, равный всего -0,056, что составляет едва ли шесть десятых вероятной ошибки, означает, что нет заметной связи между количеством осадков в данный сезон и ростом в течение следующих весны и лета. Корни секвой, вероятно, проникают так глубоко, что дождь и талый снег весенних месяцев не оседают достаточно быстро, чтобы повлиять на деревья до окончания вегетационного периода. Осадки двух предыдущих сезонов, однако, оказывают некоторое влияние на деревья, как показано во второй строке раздела А, где коэффициент корреляции равен +0,288, или в 3,2 раза превышает вероятную ошибку. При учете количества осадков за три сезона коэффициент повышается до +0,570, что в 8,7 раза превышает вероятную погрешность, в то время как при четырехлетнем количестве осадков коэффициент начинает снижаться. Таким образом, рост этих восемнадцати секвой на относительно сухих склонах, по-видимому, зависел главным образом от количества осадков во втором и третьем предшествующих сезонах дождей. Например, рост в 1900 году во многом зависел от количества осадков в сезоны дождей 1897-1898 и 1898-1899 годов.

Раздел В таблицы показывает, что у 112 деревьев, растущих в основном во влажных понижениях, где запас воды максимален, корреляция между ростом и количеством осадков (+0,577 за десятилетний период) даже выше, чем у сухих деревьев. Просачивание подземных вод происходит настолько медленно, что только после учета количества осадков за четыре года коэффициент корреляции более чем в четыре раза превышает вероятную ошибку. Когда используются только деревья, растущие во влажных местах, коэффициент между ростом деревьев и количеством осадков за десять лет возрастает до высокого значения + 0,605, или в 9,8 раза превышающего вероятную ошибку, как показано в разделе С. Эти цифры, а также многие другие, не опубликованные здесь, ясно показывают, что кривая роста секвой с 1861 по 1910 год дает довольно точное представление о количестве осадков в Сакраменто, при условии, что учитывается задержка от трех до десяти лет из-за того факта, что влага из почвы постепенно просачивается вниз по склонам гор и достигает только секвой. после значительного промежутка времени.

Если бы были доступны данные об осадках для места, где на самом деле растут деревья, взаимосвязь, вероятно, была бы еще более тесной.

Запись во Фресно, например, насколько это возможно, подтверждает этот вывод. Но поскольку Фресно расположен на небольшой высоте и количество осадков в нем, по сути, такое же, как в Сакраменто, его короткий послужной список имеет меньшую ценность, чем в Сакраменто. Единственные рекорды количества осадков в высокогорных Сьеррах, где количество осадков и температура примерно такие же, как в регионе секвойя, зафиксированы вдоль главной линии Южно-Тихоокеанской железной дороги. Она тянется от Окленда на северо-восток на семьдесят миль по открытой равнине до Сакраменто, затем еще семьдесят миль, по прямой, через Колфакс и через высокий перевал в Сьеррах на вершине, следующие двадцать миль или около того вниз через Траки до Бока, на краю внутреннего бассейна Невады, и на северо-восток еще 160 миль до Виннемакки, где поворачивает на восток к Огдену и Солт-Лейк-Сити. В разделе D таблицы 3 показаны коэффициенты корреляции между количеством осадков вдоль железной дороги и ростом секвой. В Сакраменто, который находится довольно открыто для ветров с Тихого океана и, таким образом, отражает общий климат центральной Калифорнии, коэффициент почти в пять раз превышает вероятную ошибку, что указывает на реальную связь с ростом секвой. Затем среди предгорий Сьерры в Колфаксе коэффициент падает до тех пор, пока он не становится едва ли больше вероятной ошибки. Однако она быстро повышается по мере продвижения в горы, пока в Бока не достигнет высокого значения + 0,604, что в восемь раз превышает вероятную ошибку, и остается высокой в засушливой области дальше на восток. Другими словами, рост секвой является хорошим показателем количества осадков там, где растут деревья, и в засушливом регионе дальше на восток.

Чтобы определить, в какой степени данные sequoia отражают количество осадков в других регионах, давайте выберем Иерусалим для сравнения. Причины такого выбора заключаются в том, что Иерусалим представляет собой единственную доступную запись, удовлетворяющую следующим необходимым условиям: (1) его запись достаточно длинная, чтобы быть важной; (2) он расположен довольно близко к широте секвой, 32 ° северной широты против 37 ° северной широты; (3) он расположен в аналогичном типе климата с зимними дождями и долгим засушливым летом; (4) он расположен значительно выше уровня моря (2500 футов) и несколько дальше от морского побережья, таким образом, приближаясь, хотя и ни в коем случае не повторяя состояние секвой; и (5) он расположен в регионе, где свидетельства климатических изменений в исторические периоды наиболее очевидны. Идеальным местом для сравнения была бы долина, в которой растут ливанские кедры. Эти деревья необычайно напоминают секвойи не только своим расположением, но и большим возрастом. Когда-нибудь будет очень интересно сравнить рост этих двух знаменитых групп старых деревьев.

Коэффициенты корреляции между ростом секвойи и количеством осадков в Иерусалиме приведены в разделе A, таблица 4. Они настолько высоки и постоянны, что едва ли оставляют место для сомнений в том, что там, где используется сотня или более секвой, как показано на рис. 5, кривая их роста дает хорошее представление о колебаниях климата в западной Азии. Высокий коэффициент для одиннадцати деревьев, измеренный Дугласом, предполагает, что там, где количество деревьев достигает десяти, как на части рис. 4 с 710 по 840 год до н.э., связь между ростом деревьев и количеством осадков остается близкой, даже если учитывать прирост только за один год. Где единицей измерения является десять лет роста, как показано на рис. 4 и 5. Точность кривой дерева как показателя количества осадков намного выше, чем при использовании одного года, как показано в таблице 4. Когда единица измерения повышается до тридцати лет, как показано на сглаженной части рис. 4 до 240 года до н.э. даже четыре дерева, начиная с 960 по 1070 год, вероятно, дают достаточно приблизительное представление

об общих изменениях количества осадков, в то время как одно дерево до 1110 года до н.э. дает приблизительное представление.

ТАБЛИЦА 4

КОЭФФИЦИЕНТЫ КОРРЕЛЯЦИИ Между ДАННЫМИ ОБ ОСАДКАХ В КАЛИФОРНИИ И ИЕРУСАЛИМЕ

(P)=коэффициент корреляции

(e)=вероятность ошибки

(p/e)=соотношение коэффициента на возможные ошибки

А. Иерусалиме осадков на протяжении 3 лет и различных групп секвойи^[27]

	(p)	(e)	(p/e)
11 деревьев измеряется Дуглас	+0.453	±0.078	5.8
80 деревьев, влажных местах, группами IA, IIA, IIIA, Ba	+0.500	±0.073	6.8
101 деревьев, во влажных местах, 69, 32 в сухое, я, II и III	+0.616	±0.061	10.1
112 деревьев, во влажных местах, 80, 32 в сухое, я, II и III, и V	+0.675	±0.053	12.7

Б. осадков в Иерусалиме и на станциях в Калифорнии и Неваде

			-- 3 лет --		-- 5 лет --	
	высоты (футов)	Года	(p)	(p/e)	(p)	(p/e)
Сакрамент о,	70	1861-1910	+0.386	4.7	+0.352	4.2
Колфакс,	2400	1871-1909	+0.311	3.1	+0.308	3.0
саммита,	7000	1871-1909	+0.099	0.9	+0.248	2.3
траки,	5800	1871-1909	+0.229	2.2	+0.337	3.3
^[28] бока,	5500	1871-1909	+0.482	6.4	+0.617	8.6
Уиннемакка	4300	1871-1909	+0.235	2.2	+0.260	2.4
,						
Сан- Бернардин о,	1050	1871-1909	+0.275	2.7	+0.177	1.8

С. Осадков выпадает на 3 года в Калифорнии и Неваде станций, 1871-1909

(p) (p/e)

Сакраменто и Сан-Бернардино	+0.663	10.7
Сан-Бернардино и Уиннемукка	+0.291	2.8

Таблица 4 демонстрирует особенность, заключающуюся в том факте, что корреляции раздела А между ростом деревьев и количеством осадков в Иерусалиме явно выше, чем корреляции между количеством осадков в двух регионах. Только в Сакраменто и Бока коэффициенты количества осадков достаточно высоки, чтобы быть окончательными. Это, однако, неудивительно, поскольку даже между Сакраменто и Сан-Бернардино, разделенными всего 400 милями, коэффициент корреляции количества осадков за трехлетние периоды всего в 10,7 раза превышает вероятную ошибку, как показано в разделе С таблицы 4, в то время как между Сан-Бернардино и Виннемуккой, расположенными в 500 милях друг от друга, соответствующий показатель падает до 2,8. Следует помнить, что в некоторых отношениях рост секвой является гораздо лучшим показателем количества осадков, чем записи, которые ведет человек. Человеческий рекорд основан на количестве воды, уловленном небольшим прибором диаметром в несколько дюймов. Каждый порыв ветра снижает точность записи; на расстоянии мили количество осадков может быть вдвое больше, чем на манометре. Каждая секвойя, с другой стороны, получает влагу с площади, в тысячи раз превышающей дождемер. Более того, деревья, на которых растет инжир. Цифры 4 и 5 основаны на том, что они были разбросаны по территории длиной пятьдесят миль и протяженностью несколько сотен квадратных миль. Следовательно, они представляют собой сумму осадков на площади, в миллионы раз превышающей площадь дождемера. Этот факт и большие коэффициенты корреляции между ростом секвой и количеством осадков в Иерусалиме следует учитывать в связи с тем фактом, что все коэффициенты между количеством осадков в Калифорнии и Неваде и в Иерусалиме положительны. Если бы полные данные о количестве осадков в Калифорнии и Неваде, с одной стороны, и в регионе восточного Средиземноморья, с другой, были доступны в течение длительного периода, они, вероятно, были бы полностью совпадающими.

Насколько широко секвойи могут использоваться в качестве показателя климата прошлого, пока точно неизвестно. В некоторых регионах, как будет вскоре объяснено, климатические изменения, по-видимому, носили противоположный характер по сравнению с калифорнийскими. В других калифорнийский или восточносредиземноморский тип изменений, по-видимому, иногда преобладает, но не всегда очевиден. Например, сегодняшнее количество осадков на Мальте имеет отчетливую связь с количеством осадков в Иерусалиме и ростом секвой. Но коэффициент корреляции между количеством осадков за восьмилетние периоды в Неаполе, немного севернее, и ростом секвой в конце периодов составляет -0,132, или всего в 1,4 раза превышает вероятную ошибку и слишком мал, чтобы быть значительным. Это согласуется с тем фактом, что, хотя в Неаполе бывают летние засухи, они не так выражены, как в Калифорнии и Палестине, а распространенность штормов намного больше. За семь месяцев с апреля по октябрь в Иерусалим выпадает всего 8 процентов осадков, а в Сакраменто - 13, в то время как на Мальте выпадает 31 процент, а в Неаполе - 43. Тем не менее, есть некоторые свидетельства того, что в прошлом климатические колебания южной Италии шли почти тем же курсом, что и в Калифорнии и Палестине. Это очевидное несоответствие, по-видимому, объясняется нашим предыдущим выводом о том, что изменения климата в значительной степени обусловлены смещением траекторий штормов. Когда солнечных пятен становится

много, штормы, которые сейчас преобладают в северной Италии, похоже, смещаются на юг и пересекают Средиземное море в Палестину точно так же, как аналогичные штормы смещаются на юг в Соединенных Штатах. Возможно, это объясняет соответствие между кривой секвойи и сельскохозяйственной и социальной историей Рима примерно с 400 г. до н.э. по 100 г. н.э., как объясняется в *Мировой власти и эволюции*. Для наших нынешних целей, однако, главным моментом является то, что с тех пор, как велись записи об осадках, колебания климата, на которые указывает рост секвой, были тесно связаны с колебаниями количества осадков в регионе восточного Средиземноморья. Предположительно, то же самое было верно и в прошлом. В этом случае кривая секвойи не только является хорошим показателем климатических изменений или пульсаций в регионах со схожим климатом, но и может служить ориентиром для совпадающих, но отличающихся изменений в регионах других типов.

Огромное количество других свидетельств указывает на тот же вывод. Это указывает на то, что, хотя средний климат в настоящее время более сухой, чем в прошлом, в регионах с средиземноморским типом зимних дождей и летних засух, в исторические периоды наблюдались выраженные колебания, так что в определенные периоды засушливость действительно была большей, чем в настоящее время. Этот вывод настолько важен, что представляется целесообразным рассмотреть единственные важные аргументы, которые были выдвинуты против него, особенно против идеи о том, что общее количество осадков в восточном Средиземноморье в историческом прошлом было больше, чем в настоящее время. Первое возражение заключается в неоспоримом факте, что засухи и голод происходили в периоды, которые, по другим свидетельствам, кажутся более суровыми, чем нынешние. Этот аргумент часто использовался, но, по-видимому, он не имеет большой силы. Если количество осадков в данном регионе составляет в среднем тридцать дюймов и колеблется от пятнадцати до сорока пяти, наступит массовый голод, если количество осадков в течение нескольких лет снизится до нижнего предела и в течение нескольких лет не поднимется намного выше двадцати. Если климат местности меняется в течение столетий, так что количество осадков в среднем составляет всего двадцать дюймов и колеблется от семи до тридцати пяти, голод снова наступит, если количество осадков останется около десяти дюймов в течение нескольких лет. Опустошительные последствия первого голода могут быть такими же ужасными, как и последствия второго. Они могут быть даже хуже, потому что при большем количестве осадков население, скорее всего, будет больше, а бедствие из-за нехватки продовольствия затронет большее число людей. Следовательно, исторические записи о голоде и засухах не указывают на то, что климат был более сухим или влажным, чем в настоящее время. Они просто показывают, что в рассматриваемое время климат был более сухим, чем обычно для данного конкретного периода.

Второе возражение состоит в том, что пустыни существовали в прошлом во многом так же, как и в настоящее время. Однако это не является реальным возражением, поскольку, как мы увидим более подробно, некоторые части мира претерпевают изменения одного рода, а другие - совершенно противоположного. Более того, пустыни существовали всегда, и когда мы говорим об изменении их климата, мы просто имеем в виду, что их границы сместились. Конкретный пример ошибочного использования древней засухи в качестве доказательства климатической однородности иллюстрируется походом Александра из Индии в Месопотамию. Хедин дает превосходное представление об этом случае во втором томе своего *"Путешествия по суше в Индию"*. Он убедительно показывает, что армия Александра ужасно страдала от нехватки воды и провизии. Это, безусловно, доказывает, что климат был сухим, но никоим образом не

указывает на то, что с прошлого по настоящее время не произошло никаких изменений. Мы не знаем, состоялся ли поход Александра в особенно засушливый или особенно влажный год. В пустынном регионе, таком как Макран, на юге Персии и Белуджистана, где возникли основные трудности, количество осадков сильно меняется из года в год. У нас нет записей из Макрана, но условия там очень похожи на условия южной Аризоны и Нью-Мексико. В 1885 и 1905 годах количество осадков на пяти станциях в этом регионе было следующим:

	1885	1905	<i>Среднее количество осадков за период с начала наблюдений</i>
Юма, Аризона,	2,72	11,41	3,13
Финикс, Аризона,	3,77	19,73	7,27
Тусон, Аризона,	5,26	24,17	11,66
Лордсбург, Нью-Мексико,	3,99	19,50	8,62
Эль-Пасо, Техас (на границе с Нью-Мексико),	7,31	17,80	9,06
Среднее,	4,61	18,52	7,95

Эти станции расположены на территории почти в 500 милях к востоку и западу. Очевидно, что путешественнику, проводшему 1885 год в этом регионе, было бы гораздо труднее найти воду и фураж, чем тому, кто путешествовал по тем же местам в 1905 году. В 1885 году количество осадков было на 42% меньше среднего, а в 1905 году - на 134% больше среднего. Давайте предположим, ради аргументации, что среднее количество осадков в юго-восточной Персии сегодня составляет шесть дюймов, а во времена Александра было десять дюймов. Если бы в прошлом в Персии количество осадков из года в год менялось так же сильно, как сейчас в Нью-Мексико и Аризоне, то количество осадков в древний засушливый год, соответствующий по характеру 1885 году, составляло бы около 5,75 дюйма. С другой стороны, если мы предположим, что количество осадков тогда было в среднем меньше, чем в настоящее время, — скажем, четыре дюйма, — то в дождливый год, соответствующий 1905 году в американских пустынях, могло выпасть около десяти дюймов осадков. В таком случае ясно, что наша оценка того, что показывает поход Александра относительно климата, должна в значительной степени зависеть от того, был ли 325 год до нашей эры влажным или засушливым. Поскольку мы ничего не знаем об этом, мы должны исходить из того факта, что большая армия совершила путешествие в месте, где сегодня даже небольшой караван обычно сталкивается с большими трудностями в добывании фуража и воды. Более того, слонов перегнали на 180 миль через то, что сейчас является почти безводной пустыней, и все же старые историки никак не комментируют такой подвиг, который сегодня был бы практически невозможен. Эти вещи, кажется, больше гармонируют с изменением климата, чем с единообразием. Тем не менее, небезопасно сильно полагаться на них, за исключением случаев, когда они рассматриваются в сочетании с другими свидетельствами, такими как многочисленные руины, которые показывают, что когда-то Макран был гораздо более густонаселенным, чем сейчас кажется возможным. Взятые сами по себе,

такие инциденты, как марш Александра, нельзя безопасно использовать ни в качестве аргумента за, ни против изменения климата.

Третье и самое сильное возражение против любой гипотезы о климатических изменениях в исторические периоды основано на растительности. Весь вопрос превосходно изложен Дж. У. Грегори,^[29] который приводит не только свои собственные результаты, но и результаты самых способных ученых, которые предшествовали ему. Его выводы важны, потому что они представляют собой один из немногих случаев, когда была предпринята определенная статистическая попытка доказать точное состояние климата в прошлом. После изложения различных менее важных причин полагать, что климат Палестины не изменился, он обсуждает растительность. Следующая цитата отражает ход его мыслей. Предложение в начале выделено курсивом, чтобы привлечь внимание к важности, которую Грегори и другие придают этому конкретному виду доказательств:

Необходима какая-то более определенная проверка, чем общие выводы, которые могут быть основаны на исторических и географических свидетельствах Библии. В отсутствие дождемера и термометрических данных, *наиболее точный критерий климата дает растительность; и, к счастью, пальма дает очень тонкий критерий прошлого климата Палестины и восточного Средиземноморья....* Финиковая пальма имеет три предела роста, которые определяются температурой; таким образом, она не достигает полной зрелости и не дает спелых плодов хорошего качества ниже среднегодовой температуры 69 ° F. Изотермическая точка 69° пересекает южный Алжир близ Бискры; она касается северных берегов Киренаики близ Дерны и проходит Египет близ устья Нила, а затем изгибается на север вдоль прибрежных земель Палестины.

К северу от этой линии растет финиковая пальма и дает плоды, которые созревают лишь изредка, и их качество ухудшается, когда температура опускается ниже 69 °. Между изотермами 68° и 64°, которые охватывают север Алжира, большую часть Сицилии, Мальту, южные районы Греции и север Сирии, производимые финики настолько незрелые, что их нельзя употреблять в пищу. В следующей более прохладной зоне, к северу от изотермы 62°, которая входит в Европу на юго-западе Португалии, проходит через Сардинию, входит в Италию близ Неаполя, пересекает северную Грецию и Малую Азию к востоку от Смирны, финиковую пальму выращивают только ради ее листы, поскольку она не плодоносит.

Следовательно, в Бенгази, на побережье северной Африки, финиковая пальма плодородна, но дает плоды низкого качества. На Сицилии и в Алжире плоды созревают время от времени, а в Риме и Ницце пальму выращивают только как декоративное дерево.

Таким образом, финиковая пальма позволяет проверить колебания среднегодовой температуры трех сортов в диапазоне от 62° до 69 °.

Этот тест показывает, что среднегодовая температура в Палестине не менялась со времен Ветхого Завета. Сейчас финиковая пальма выращивает финики на побережье Палестины и в глубокой впадине вокруг Мертвого моря, но на высокогорье Иудеи она не плодоносит. Его распространение в древние времена, насколько мы можем судить по Библии, было точно таким же. Он вырос в "Иерихоне, городе пальм" (Втор. xxxiv: 3 и 2 Пар. xxviii: 15), и в Энгеди, на западном берегу Мертвого моря (2 Пар. xx: 2; Сирах xxiv: 14); и хотя пальмы все еще нет в Иерихоне — последняя, по-видимому, умерла в 1838 году, — ее исчезновение должно быть вызвано небрежением, поскольку единственным климатическим изменением, которое

могло бы объяснить это, было бы увеличение холода или влажности. В древности финиковая пальма, несомненно, росла на высокогорье Палестины; но, по-видимому, она там никогда не плодоносила, поскольку Библия упоминает пальму в связи с ее красотой и прямым ростом: "Праведники будут цвести, как пальма" (Пс. xcii: 12); "Они прямые, как пальма" (Иер. x: 5); "Ростом ты подобен пальме" (Коран. vii: 7). Он используется как символ победы (Откр. vii: 9), но никогда не восхваляется как источник пищи.

Даты ни разу не упоминаются в тексте Библии, но, согласно примечаниям на полях, во 2 Паралипоменон это слово переводится как "мед". xxxi: 5 может означать даты

Таким образом, представляется, что финиковая пальма имела, по существу, такое же распространение в Палестине во времена Ветхого Завета, как и сейчас; и отсюда мы можем сделать вывод, что средняя температура тогда была такой же, как и сейчас. Если бы климат был более влажным и прохладным, финик не смог бы процветать в Иерихоне. Если бы было теплее, пальмы свободно росли бы на более высоких уровнях, и Иерихон не отличался бы как *the* город пальм.^[30]

В целом выводы Грегори кажутся хорошо обоснованными, хотя даже согласно его данным изменение средней температуры на 2 ° или 3 ° было бы вполне осуществимо. Следует заметить, однако, что они применимы к температуре, а не к количеству осадков. Они просто доказывают, что две тысячи лет назад средняя температура в Палестине и соседних регионах существенно не отличалась от сегодняшней. Это, однако, ни в коем случае не противоречит гипотезе климатических пульсаций. Исследователи оледенения полагают, что в течение последней ледниковой эпохи средняя температура земли в целом была всего на 5 или 6 ° С. ниже, чем в настоящее время. Если разница между сегодняшним климатом и климатом времен Христа хотя бы в десятую часть так же велика, как разница между климатом сегодняшнего дня и тем, который преобладал в кульминационный момент последней ледниковой эпохи, то изменения за две тысячи лет были огромных размеров. Однако для этого потребовалось бы повышение средней температуры в Палестине всего на полградуса по Цельсию. Очевидно, что столь незначительное изменение едва ли было бы заметно в растительности.

О незначительности изменений средней температуры по сравнению с изменениями количества осадков можно судить по сравнению с влажными и засушливыми годами в различных регионах. Например, в Берлине в период с 1866 по 1905 год в десять самых дождливых лет выпало в среднем 670 мм осадков, а средняя температура составила 9,15 °С. С другой стороны, за десять лет наименьшего количества осадков выпало в среднем 483 мм, а средняя температура составила 9,35 ° с. Другими словами, разница в количестве осадков в 137 мм, или 39%, сопровождалась разницей в температуре всего на 0,2°С. Такие контрасты между изменчивостью среднего количества осадков и средней температуры наблюдаются не только при выборе отдельных лет, но и при использовании гораздо более длительных периодов. Например, в западной части Мексиканского залива Соединенных Штатов две внутренние станции Висксбург, Миссисипи, и Шривпорт, Луизиана, а также две морские станции Новый Орлеан, Луизиана, и Галвестон, Техас, расположены на границе области протяженностью около 400 миль. За десять лет с 1875 по 1884 год их количество осадков составило в среднем 59,4 дюйма,^[31] в то время как за десять лет с 1890 по 1899 год оно составило в среднем всего 42,4 дюйма. Даже в таком хорошо обводненном регионе, как страны Персидского залива, такое изменение — на 40 процентов большее в первом десятилетии, чем во втором, — имеет важное значение, а в более засушливых регионах оно оказало бы большое влияние на пригодность для

жизни. Тем не менее, несмотря на величину изменения, средняя температура существенно не отличалась, среднее значение для четырех станций составило 67,36 ° F. в течение более дождливой декады и 66,94 ° F. в течение менее дождливой декады — разница всего в 0,42 °F. Стоит отметить, что в данном случае более влажный период был также более теплым, тогда как в Берлине он был более прохладным. Вероятно, это связано с тем, что большая часть влаги в странах Персидского залива приносится ветрами с южным компонентом. Аналогичные взаимосвязи очевидны и в других местах. Мы выбираем Иерусалим, потому что обсуждали Палестину. На момент написания статьи данные, имеющиеся в *Ежеквартальном журнале Фонда исследования Палестины*, охватывают 1882-1899 и 1903-1909 годы. За эти двадцать пять лет в тринадцати местах, где выпало больше всего осадков, было в среднем 34,1 дюйма и температура 62,04 ° F. В двенадцати местах с наименьшим количеством осадков было 24,4 дюйма и температура 62,44 ° . Разница в количестве осадков на 40% сопровождалась разницей в температуре всего на 0,4 °F.

Факты, изложенные в предыдущих параграфах, по-видимому, показывают, что значительные изменения в количестве осадков и интенсивности штормов могут происходить без заметных изменений средней температуры. Если такие изменившиеся условия могут сохраняться в течение десяти лет, как в одном из наших примеров, то нет логической причины, по которой они не могут сохраняться в течение ста или тысячи. Свидетельства изменений климата в течение исторического периода, по-видимому, свидетельствуют об изменениях в количестве осадков в гораздо большей степени, чем в температуре. Следовательно, самый сильный из всех аргументов против исторических изменений климата, по-видимому, имеет относительно небольшой вес, и пульсирующая гипотеза, по-видимому, согласуется со всеми известными фактами.

Прежде чем можно будет правильно понять истинную природу климатических изменений, будь то исторических или геологических, необходимо подчеркнуть еще один момент. Когда гипотеза пульсации была впервые сформулирована, она впала в ту же ошибку, что и гипотезы однородности и прогрессивных изменений, то есть было сделано предположение, что весь мир становится либо суше, либо влажнее с каждой пульсацией. Изучение руин Юкатана в 1912 году и Гватемалы в 1913 году, как объясняется в *"Климатическом факторе"*, привело к выводу, что климат этих регионов изменился противоположным образом по сравнению с изменениями, которые, по-видимому, произошли в пустынных районах южнее. Руины майя в Центральной Америке во многих случаях расположены в регионах с такими обильными дождями, такими густыми лесами и такими злокачественными лихорадками, что проживание в настоящее время практически невозможно. Землю нельзя обрабатывать, за исключением особо благоприятных мест. Население ужасно ослаблено болезнями и находится в одном из самых бедных слоев населения в Центральной Америке. Всего в сотне миль от нездоровых лесов мы находим целебные районы, такие как побережье Юкатана и плато Гватемалы. Здесь сосредоточено подавляющее большинство населения, расположены крупные города, и встречаются единственные прогрессивные люди. Тем не менее, в прошлом лесной регион был домом для, безусловно, самых прогрессивных людей, которые, как известно, жили в Америке до времен Колумба. Они одни довели до высокого совершенства искусство скульптуры; они были единственными американцами, которые изобрели искусство письма. Кажется маловероятным, что такой народ мог жить в наихудшей возможной среде обитания, когда под рукой были гораздо более благоприятные регионы. Поэтому создается впечатление, что климат восточной Гватемалы и Юкатана в прошлом должен был быть относительно сухим. Хронология и традиции

мая указывают на то, что это, вероятно, было в то же время, когда более влажные условия, по-видимому, преобладали в субаридных или пустынных районах Соединенных Штатов и Азии. Рис. 3 показывает, что сегодня во время многих солнечных пятен наблюдается аналогичное противопоставление тенденции к штормам и дождям в субтропических регионах и засухливости в низких широтах вблизи теплового экватора.

Таким образом, наш окончательный вывод заключается в том, что в исторические времена происходили пульсирующие изменения климата. Эти изменения были одного типа в регионах со схожим климатом, но разного, а иногда и противоположного типа в местах с различным климатом. Что касается причины пульсаций, то они не могли быть вызваны прецессией равноденствий или, по-видимому, какой-либо смежной астрономической причиной, поскольку временные интервалы слишком короткие и слишком нерегулярные. Они не могли быть вызваны изменениями процентного содержания углекислого газа в атмосфере, поскольку даже самые убежденные сторонники климатической эффективности этого газа не считают, что его количество могло колебаться таким сильным образом, который был бы необходим для объяснения пульсаций, показанных на калифорнийской кривой роста деревьев. Вулканическая активность представляется более вероятной, по крайней мере, частичной причиной, и было бы целесообразно исследовать этот вопрос более полно. Тем не менее, это, по-видимому, может быть лишь незначительной причиной. Во-первых, основным эффектом облака пыли является изменение температуры, но краткое описание пальмы и виноградной лозы Грегори показывает, что колебания температуры, по-видимому, не имели большого значения в исторические периоды. Опять же, руины на дне закрытых соленых озер, старые пляжи, ныне ушедшие под воду, и признаки ирригационных канав там, где в настоящее время нет необходимости, указывают на более сухой климат, чем нынешний. Вулканическая пыль, однако, не может объяснить такое состояние, поскольку в настоящее время воздух, по-видимому, практически свободен от такой пыли в течение длительного периода времени. Таким образом, сейчас мы переживаем величайшую крайность, которую допускает вулканическая гипотеза в одном направлении, но в том же направлении были и более серьезные крайности. Тепловая солнечная гипотеза также не в состоянии объяснить наблюдаемые явления, поскольку ни она, ни вулканическая гипотеза не предлагают никакого объяснения того, почему климат меняется одним образом в средиземноморском климате и противоположным образом в регионах вблизи теплового экватора.

Таким образом, остается циклоническая гипотеза. Похоже, что это соответствует фактам, поскольку вариации циклонических штормов приводят к тому, что некоторые регионы становятся более влажными, а другие - более сухими, чем обычно. В то же время колебания температуры незначительны и, по-видимому, различаются в разных регионах: в одних местах становится теплее, в то время как в других становится прохладнее. В следующей главе мы изучим этот вопрос более полно, поскольку лучше всего оценить его можно, изучив ход событий в конкретном столетии.

ГЛАВА VI

КЛИМАТИЧЕСКИЙ СТРЕСС ЧЕТЫРНАДЦАТОГО ВЕКА

Чтобы придать конкретности нашей картине климатических пульсаций исторических времен, давайте возьмем конкретный период и посмотрим, как изменения климата были распределены

по земному шару и как они связаны с небольшими изменениями, которые сейчас происходят в цикле солнечных пятен. Мы возьмем четырнадцатый век христианской эры, особенно первую половину. Этот период выбран потому, что он является последним и, следовательно, наиболее известным из периодов, когда климат земли, по-видимому, значительно изменился в сторону условий, которые сейчас преобладают, когда солнце наиболее активно, и которые, в случае усиления, по-видимому, привели бы к оледенению. Это уже обсуждалось в *"Мировая власть и эволюция"*, но его важность и тот факт, что постоянно появляются новые свидетельства, требуют более подробного обсуждения.

Начнем с Европы; согласно тщательному описанию Петтерссона^[32], четырнадцатый век показывает

рекорд экстремальных климатических изменений. В холодные зимы реки Рейн, Дунай, Темза и По замерзли на недели и месяцы. В эти холодные зимы последовали сильные наводнения, так что упомянутые реки затопили их долины. Такие наводнения зарегистрированы в 55 летних периодах 14 века. Конечно, нет ничего удивительного в том факте, что разливы великих рек Европы были более разрушительными 600-700 лет назад, чем в наши дни, когда течение рек регулировалось каналами, шлюзами и т.д.; Но все же разливы в 13-14 веках, должно быть, превзошли все подобного рода, произошедшие с тех пор. В 1342 году воды Рейна поднялись так высоко, что затопили город Майнц и кафедральный собор "usque ad cingulum hominis". Стены Кельна были затоплены, так что их можно было переплыть на лодках в июле. Это произошло также в 1374 году в середине февраля, который, конечно, является необычным временем года для подобных катастроф. Опять же, в другие годы засуха была настолько сильной, что те же реки, Дунай, Рейн и другие, почти пересыхали, и Рейн можно было перейти вброд у Кельна. Это происходило по крайней мере дважды в том же столетии. Есть одно исключительное лето, отмеченное такими ужасными событиями, что столетия спустя о нем говорили как о "старом жарком лете 1357 года".

Далее Петтерссон говорит о двух океанических явлениях, которым старые хроники придают большее значение, чем всем остальным:

Первое - это сильные штормовые наводнения на побережье Северного моря и Балтики, которые происходили так часто, что с 14 века зарегистрировано не менее девятнадцати наводнений разрушительной силы, не имеющих аналогов в более поздние времена. Береговая линия Северного моря была полностью изменена этими наводнениями. Таким образом, 16 января 1300 года половина острова Гельголанд и многие другие острова были поглощены морем. Та же участь постигла остров Боркум, разорванный на несколько островов штормовым наводнением 16 января, которое вернуло Фризским островам их нынешнюю форму, когда также были охвачены приходы Вендингштадт на острове Зюльт и Тирью. Это наводнение известно под названием "великое утопление человека". Побережья Балтийского моря также подвергались штормовым наводнениям беспрецедентной силы. 1 ноября 1304 года остров Руден был оторван от Рюгена силой волн. Время не позволяет мне подробно останавливаться на отдельных катастрофах такого рода, но будет хорошо отметить, что из девятнадцати зарегистрированных крупных наводнений восемнадцать произошли в холодное время года между осенним и весенним равноденствиями.

Второе замечательное явление, упоминаемое летописями, - это замерзание всей Прибалтики, которое происходило много раз в течение холодных зим этих столетий. В таких случаях можно было путешествовать в экипажах по льду из Швеции на Борнхольм и из Дании на побережье Германии (Любек), а в некоторых случаях даже с Готланда на побережье Эстляндии.

Норлинд^[33] говорит, что "единственные достоверные свидетельства" о полном замерзании Балтийского моря в окрестностях Каттегата относятся к 1296, 1306, 1323 и 1408 годам. Из них 1296 год является "самым неопределенным", в то время как 1323 год был самым холодным годом из когда-либо зарегистрированных, о чем свидетельствует тот факт, что лошади и сани регулярно пересекали границу из Швеции в Германию по льду.

В XIV веке не только центральная Европа и берега Северного моря подверглись климатическому стрессу, но и Скандинавия пострадала. Как выразился Петтерссон:

Изучив исторические данные последних веков Средневековья, доктор Булл из Христиании пришел к выводу, что упадок норвежского королевства был не столько следствием политических условий того времени, сколько частыми неурожаями, так что кукурузу для производства хлеба приходилось импортировать из Любека, Ростoka, Висмара и так далее. Ганзейский союз предпринял импорт и получил политическую власть благодаря своему экономическому влиянию. Норвежские землевладельцы были вынуждены снизить арендную плату. Население уменьшилось и обнищало. Доходы упали на 60-70%. Сократились даже доходы от церковного имущества. В 1367 году из Любека было импортировано кукурузы на сумму в полмиллиона крон. Торговый баланс склонился в невыгодную сторону для Норвегии, единственной статьей экспорта которой в то время была вяленая рыба. (Производство рыбы чрезвычайно возросло в балтийских регионах у южной Швеции из-за тех же изменений, которые повлияли на земли, но это не пошло на пользу Норвегии.) Доктор Булл проводит сравнение с условиями, описанными в Сагах, когда Нурланд [за полярным кругом] производил достаточно кукурузы, чтобы прокормить жителей страны. Во времена Асбьерна Сельсбейна вожди в Тронхенасе (еще дальше к северу, на 69 ° широты) выращивали столько кукурузы, что им не нужно было ехать на юг за кукурузой, если только не случался трехлетний подряд дефицит. Провинция Тронхейм экспортировала пшеницу в Исландию и так далее. Вероятно, беспокойное политическое состояние Скандинавии в конце средневековья было в значительной степени вызвано неблагоприятными климатическими условиями, которые снизили уровень жизни, а не только плохим управлением и политическими распрями, как это до сих пор считалось само собой разумеющимся.

В течение той же несчастливой первой половины четырнадцатого века Англия также страдала от условий, которые, если бы они были достаточно интенсивными, могли быть условиями ледникового периода. Согласно Торвальду Роджерсу^[34], самым жестоким голодом, когда-либо испытанным в Англии, был голод 1315-1316 годов, а следующий худший был в 1321 году. Фактически, с 1308 по 1322 год большую часть времени наблюдалась острая нехватка продовольствия. Другие, менее серьезные, голодоморы произошли в 1351 и 1369 годах. "Во всех этих случаях действовала одна и та же причина, - говорит Роджерс, - непрекращающиеся дожди и холодное, ненастное лето. Говорят, что смена времен года повлияла на поголовье скота, и многие погибли от болезней и нужды". После неурожая 1315 года цены на пшеницу,

которые и без того были высокими, быстро выросли и в мае 1316 года были примерно в пять раз выше средних. В течение года или более после этого он оставался в три-четыре раза выше обычного уровня. О серьезности голода можно судить по тому факту, что перед Первой мировой войной самый заметный дефицит пшеницы в современной Англии и самые высокие относительные цены были в декабре 1800 года. В то время пшеница стоила почти в три раза дороже обычной, а не в пять раз, как в 1316 году. Во время голода начала четырнадцатого века "говорят, что люди были вынуждены питаться кореньями, лошадьми и собаками, и рассказывают истории о еще более ужасных деяниях, совершенных из-за сильного голода". Число смертей было настолько велико, что цены на рабочую силу постоянно росли по меньшей мере на 10 процентов. Среди крестьян просто не осталось достаточного количества людей, чтобы выполнять работу, требуемую более зажиточным классом, который не так сильно пострадал.

После голода наступила засуха. 1325 год, по-видимому, был особенно засушливым, и 1331, 1344, 1362, 1374 и 1377 годы также были засушливыми. В целом, эти условия не наносят большого вреда Англии. Они представляют интерес главным образом как демонстрация того, как чрезмерные дожди и засуха могут сменять друг друга.

Эти факты, касающиеся северной и центральной Европы в XIV веке, особенно важны по сравнению с выводами, которые мы сделали в *"Земле и Солнце"* на основании роста деревьев в Германии и распространения штормов. Тщательное изучение всех фактов показывает, что мы имеем дело с двумя различными типами явлений. Во-первых, климат центральной Европы, по-видимому, был особенно континентальным в четырнадцатом веке. Зимы были такими холодными, что реки замерзали, а лето таким влажным, что наводнения случались раз в два года или чаще. По-видимому, это просто усиление условий, преобладающих в настоящее время в периоды большого количества солнечных пятен, на что указывает рост деревьев в Эберсвальде в Германии и количество штормов зимой по сравнению с летом.

Распространенность засух, особенно весной, также не противоречит существованию наводнений в другие сезоны, поскольку одной из главных характеристик континентального климата является то, что колебания от одного сезона к другому более заметны, чем в океаническом климате. Даже летние засухи типично континентальные, поскольку, когда преобладают континентальные условия, разница между одним и тем же сезоном в разные годы становится огромной, что хорошо проиллюстрировано в Канзасе. Всегда следует помнить, что причиной голода является не столько абсолютная засуха, сколько временное уменьшение количества осадков.

Второй тип явлений носит исключительно океанический характер. Он состоит из двух частей, обе из которых в точности соответствуют тому, что можно было бы ожидать, если бы на суше преобладал резко континентальный климат. Во-первых, в определенное время холодная область высокого давления, которая является преобладающей характеристикой континента зимой, по-видимому, распространялась на соседние океаны. При таких условиях внутреннее море, такое как Балтийское, замерзло бы, так что лошади могли бы переходить по льду даже на Крайнем Западе. Во-вторых, из-за необычно высокого давления над континентом барометрические градиенты, по-видимому, усилились. Следовательно, на границе континентальной области высокого давления ветры были необычайно сильными, а штормы - соответствующей силы. Некоторые из этих штормов, возможно, прошли полностью по

океанским путям, в то время как другие вторглись в границы суши и вызвали наводнения и размывание побережья, описанные Петтерссоном.

Обращаясь теперь к востоку Европы,^[35] Исследование Каспийского моря, проведенное Брюкнером, показывает, что этот регион, так же как и западная Европа, был подвержен большим климатическим превращениям в первой половине XIV века. В 1306-1307 годах Каспийское море, после быстрого подъема в течение нескольких лет, поднялось на тридцать семь футов над нынешним уровнем и, вероятно, поднялось еще выше в последующие десятилетия. По крайней мере, он оставался на высоком уровне, поскольку перс Хамдулла сообщает нам, что в 1325 году место под названием Абоскун было под водой.^[36]

Еще дальше на восток примерно в это же время также поднялось внутреннее озеро Лобнор. Согласно китайскому сообщению, Город Драконов на берегу Лобнора был разрушен наводнением. Из перевода Химли следует, что уровень озера поднялся настолько, что полностью затопил город. Это потребовало бы расширения озера до точки в восьмидесяти милях к востоку от Лулана и в полных пятидесяти милях от нынешней восточной оконечности болота Кара Кошун. Вода должна была бы подняться почти до берега, который сейчас хорошо виден на высоте двенадцати футов над современным озером или болотом.

В Индии четырнадцатый век характеризовался, по-видимому, самой разрушительной засухой за всю историю. Очевидно, уменьшение количества осадков здесь было столь же поразительным, как и увеличение в других частях мира. Статистических данных нет, но нам говорят, что во время великого голода, начавшегося в 1344 году, даже император Великих Моголов не смог обеспечить свою семью всем необходимым. В течение многих лет не было дождей, о которых стоит упомянуть. В некоторых местах голод продолжался три-четыре года, а в некоторых и двенадцать, и целые города остались без жителей. Во время более позднего голода 1769-1770 годов, который произошел в Бенгалии вскоре после установления британского правления в Индии, но пока местные чиновники все еще находились у власти, погибла треть населения, или десять из тридцати миллионов. Голод в первой половине четырнадцатого века, по-видимому, был намного сильнее. Этот индийский голод, по-видимому, был вызван слабыми летними муссонами, вызванными, предположительно, неспособностью центральной Азии прогреться так сильно, как обычно. Причиной могли быть более сильные снегопады и большая облачность летом, которые, вероятно, сопровождались усилением штормового режима.

Новый Свет, как и Старый, по-видимому, находился в состоянии климатического стресса в течение первой половины четырнадцатого века. По словам Петтерссона, Гренландия является примером этого. Поначалу жители этого северного края были довольно процветающими и могли беспрепятственно перемещаться из Исландии со стороны льдов. Сегодня Северная часть Атлантического океана к северо-востоку от Исландии большую часть времени покрыта дрейфующими льдами. Граница льда меняется от сезона к сезону, но в целом она простирается на запад от Исландии недалеко от полярного круга, а затем следует вдоль побережья Гренландии на юг до мыса Фарвелл на южной оконечности и огибает западную сторону на пятьдесят миль или более. За исключением исключительных обстоятельств, корабль не может приблизиться к берегу, пока не продвинется далеко на север по сравнительно свободному ото льда западному побережью. Однако в старых Сагах ничего не говорится о льдах в этом регионе. Маршрут из Исландии в Гренландию подробно описан. В древнейшие времена он проходил от Исландии немного к северо-западу, чтобы приблизиться к побережью Гренландии после как

можно более короткого океанского перехода. Затем он направился вдоль побережья в район, к которому сейчас практически невозможно подойти из-за льда. В то время это побережье было покрыто льдом недалеко от берега, но нет никаких признаков того, что навигация была затруднена, как это происходит сейчас. Сегодня ни одному мореплавателю не пришлось бы в голову держаться поближе к суше. Старый маршрут также проходил к северу от острова, на котором расположен мыс Прощальный, хотя узкий пролив между островом и материком сейчас настолько закупорен льдом, что ни одно современное судно никогда в него не проникало. Однако к тринадцатому веку, по-видимому, произошли изменения. В "Кунгаспегеле" или "Зеркале королей", написанных в то время, мореплавателей предупреждают не приближаться к восточному побережью слишком рано из-за льда, но в окрестностях мыса Прощания или где-либо еще новый маршрут не рекомендуется. Однако, наконец, в конце четырнадцатого века, почти через 150 лет после Кунгаспегеля, старый парусный маршрут был заброшен, и корабли из Исландии направились прямо на юго-запад, чтобы избежать встречи со льдами. Как говорит Петтерссон:

... В конце тринадцатого и начале четырнадцатого века европейская цивилизация в Гренландии была уничтожена вторжением коренного населения. Колонисты Вестербигда были изгнаны из своих домов и, вероятно, мигрировали в Америку, оставив свой скот на полях. Таким образом, они были найдены Иваром Бардссоном, управляющим епископа Гардара, во время его официальной поездки туда в 1342 году.

Вторжение эскимосов не следует рассматривать как обычный набег. Это было переселение народов, и, как и другие крупные движения такого рода, [было] вызвано изменившимися условиями природы, в данном случае изменениями климата, вызванными [или что вызвало?] наступлением льда. Для охоты и рыбной ловли эскимосам требуется хотя бы частично открытое северное ледовитое море. Тюлень, их основная добыча, не может жить там, где поверхность моря полностью покрыта льдом. Согласно моей гипотезе, причиной благоприятных условий в эпоху викингов было то, что затем льды в арктических морях растаяли на более высоких широтах.

Тогда эскимосы жили дальше на север, в Гренландии и Северной Америке. Когда климат ухудшился и море, дававшее им пропитание, было закрыто льдом, эскимосам пришлось искать более подходящее соседство. Это они нашли на земле, колонизированной скандинавами, на которых они напали и в конце концов уничтожили.

Наконец, далеко на юге, на Юкатане, примерно в это же время древняя цивилизация майя предприняла свою последнюю слабую попытку. Об этом известно немного, но в более ранние периоды история майя, по-видимому, была довольно тесно связана с колебаниями климата.^[37] Среди майя, как мы видели, относительно засушливые периоды были временем наибольшего прогресса.

Давайте теперь еще раз обратимся к рис. 3 и сравним климатические условия XIV века с периодами увеличения количества осадков. Южная Англия, Ирландия и Скандинавия, где посевы были уничтожены обильными дождями и штормами летом, - это места, где количество штормов и осадков сейчас увеличивается, когда на солнце появляются многочисленные пятна. Центральная Европа и побережье Северного моря, где чередовались наводнения и засуха, - это регионы, в которых сейчас выпадает относительно меньше дождей, когда количество солнечных пятен увеличивается, чем когда они уменьшаются. Однако, как видно из измерений

деревьев Дугласом, зимы становятся более континентальными и, следовательно, более прохладными, что соответствует холодным зимам четырнадцатого века, когда люди ходили по льду из Скандинавии в Данию. Когда зимой преобладает такое высокое давление, общее количество осадков уменьшается, но, тем не менее, штормы более сильные, чем обычно, особенно весной. В юго-Восточной Европе, той части района, откуда Каспий черпает свои воды, по-видимому, выпадает меньше осадков во время увеличения количества солнечных пятен, чем когда солнечных пятен мало, но на столь же обширной территории к югу, где горы выше и сток дождей более быстрый, имеет место обратное. Это, по-видимому, означает, что небольшое уменьшение количества воды, поступающей из Волги, было бы более чем компенсировано водой, поступающей из Персии и рек Окс и Джаксарт, которые в четырнадцатом веке, по-видимому, наполняли Аральское море и большим потоком вытекали в Каспий. Еще дальше на восток, в Центральной Азии, насколько позволяют данные, на большей части территории страны выпадает больше осадков, когда солнечных пятен много, чем когда их мало, что согласуется с тем, что произошло, когда Город Драконов был затоплен. В Индии, напротив, есть большая территория, где количество осадков уменьшается во время многих солнечных пятен, что согласуется с ужасным голодом, от которого так жестоко страдали моголы. В западном полушарии Гренландия, Аризона и Калифорния являются частями области, где количество дождей увеличивается и появляется много солнечных пятен, в то время как Юкатан, по-видимому, находится в области противоположного типа. Таким образом, все свидетельства, по-видимому, указывают на то, что во времена климатических стрессов, таких как четырнадцатый век, условия по существу такие же, как те, которые сейчас преобладают во времена увеличения количества солнечных пятен.

Что касается количества солнечных пятен, то существует мало свидетельств, предшествующих примерно 1750 году. И все же это немного интересно и важно. Хотя в Европе за солнечными пятнами тщательно наблюдали немногим более трех столетий, у китайцев есть записи, восходящие почти к началу христианской эры. Конечно, записи далеки от совершенства, поскольку работа выполнялась отдельными людьми, а не какой-либо крупной организацией, которая передавала одни и те же методы из поколения в поколение. Сам факт того, что хороший наблюдатель воспользовался своим закопченным стеклом с пользой, может привести к тому, что в определенный период времени появится необычное количество пятен. С другой стороны, тот факт, что такой наблюдатель находит пятна в одни моменты времени, а в другие - нет, как правило, дает ценную проверку его результатов, равно как и сравнение работы одного наблюдателя с работой другого. Следовательно, несмотря на множество очевидных недостатков, большинство исследователей проблемы согласны с тем, что китайские летописи обладают большой ценностью и что на протяжении тысячи или более лет они дают довольно верное представление об общем аспекте солнца. В китайских записях годы с большим количеством пятен, как и следовало ожидать, объединены в группы и иногда разделены большими интервалами. Некоторые столетия, по-видимому, были отмечены необычной пятнистостью. Наиболее заметным из них является четырнадцатый, когда 1370-1385 годы были особенно примечательными, поскольку пятна, достаточно большие, чтобы их можно было увидеть невооруженным глазом, большую часть времени закрывали солнце. Следовательно, Вольф,^[38] который провел исчерпывающее исследование этого вопроса, приходит к выводу, что абсолютный максимум пятен был зафиксирован примерно в 1372 году. Хотя эта дата, безусловно, вызывает сомнения, большое количество солнечных пятен в то время делает вероятным, что она не может быть сильно ошибочной. Если это так, то, по-видимому, великие

климатические потрясения, свидетельства которых мы видели в четырнадцатом веке, произошли в то время, когда количество солнечных пятен увеличивалось или, по крайней мере, когда солнечная активность находилась под каким-то глубоко тревожащим влиянием. Таким образом, имеющиеся данные, по-видимому, показывают не только то, что климат в исторические времена был подвержен значительным пульсациям, но и то, что эти пульсации были усилением небольших климатических изменений, которые сейчас происходят в циклах появления солнечных пятен. Прошлые и настоящее, по-видимому, представляют собой единое целое, за исключением интенсивности изменений.

ГЛАВА VII

ОЛЕДЕНЕНИЕ В СООТВЕТСТВИИ С СОЛНЕЧНО-ЦИКЛОНИЧЕСКОЙ ГИПОТЕЗОЙ^[39]

Замечательные явления ледниковых периодов представляют собой, возможно, наилучшую из имеющихся проверку, которой может быть подвергнута любая климатическая гипотеза. В этой и двух последующих главах мы применим эту проверку. Поскольку о недавнем Великом ледниковом периоде, или плейстоценовом оледенении, известно гораздо больше, чем о более древних оледенениях, проблемам плейстоцена будет уделено особое внимание. В настоящей главе наступление оледенения и последующее исчезновение льда будут обрисованы в свете того, что можно было бы ожидать в соответствии с солнечно-циклонической гипотезой. Затем, в следующей главе, будет рассмотрен ряд проблем, имеющих особое климатическое значение, таких как локализация ледниковых покровов, последовательность сильных ледниковых и умеренных межледниковых эпох, внезапное начало оледенения и специфические колебания высоты снежного покрова. Другими темами, требующими рассмотрения, являются возникновение плювиального или дождливого климата в ненаселенных регионах и оледенение вблизи уровня моря в субтропических широтах в пермском и протерозойском периодах. Затем, в главе IX, мы рассмотрим разработку и распространение замечательных отложений материала, переносимого ветром, известного как лесс.

Факты, не учтенные при формулировании гипотезы, особенно важны при ее проверке. В данном конкретном случае циклоническая гипотеза была сформулирована для объяснения исторических изменений климата, выявленных при изучении руин, древесных колец и террас ручьев и озер, без особых размышлений оледенении или других геологических изменениях. Действительно, гипотеза достигла почти своей нынешней формы до того, как геологическим этапам проблемы было уделено большое внимание. Тем не менее, похоже, что она выдерживает даже это суровое испытание.

Согласно солнечно-циклонической гипотезе, плейстоценовый ледниковый период начался в то время, когда определенные земные условия имели тенденцию делать землю особенно благоприятной для оледенения. Как возникли эти условия, будет рассмотрено позже. Здесь достаточно указать, какими они были. Главным из них был тот факт, что континенты находились необычно высоко и были необычайно большими. Это, однако, не было основной причиной оледенения, поскольку многие районы, которые вскоре должны были покрыться льдом, находились на небольшой высоте над уровнем моря. Например, кажется очевидным, что Новая Англия была менее чем на тысячу футов выше, чем сейчас. Действительно, Солсбери^[40] считает, что восточная часть Северной Америки в целом была не более чем на несколько сотен футов

выше, чем сейчас, и У. Б. Райт^[41] приходит к тому же выводу в отношении Британских островов. Тем не менее, обширные территории, даже если они не все высокогорные, приводят к климатическим условиям, благоприятствующим оледенению. Например, увеличенные континенты вызывают низкую температуру в высоких широтах, потому что они препятствуют океанским течениям, которые переносят тепло к полюсам. Такие континенты также вызывают относительно холодные зимы, поскольку земли остывают гораздо раньше, чем океан. Другим результатом является уменьшение количества водяного пара не только потому, что холодный воздух не может удерживать много пара, но и потому, что площадь океана, с которой происходит испарение, уменьшается в результате появления континентов. Опять же, когда континенты обширны, количество углекислого газа в атмосфере, вероятно, уменьшается, поскольку усиленная эрозия, вызванная подъемом, выбрасывает в воздух много магматических пород, а выветривание поглощает атмосферный углекислый газ. Когда поступление водяного пара и углекислого газа в атмосферу невелико, обычно преобладает экстремальный тип климата. Совокупным результатом всех этих условий является то, что появление континентальности делает климат несколько прохладным и характеризуется относительно большими контрастами от сезона к сезону и от широты к широте.

Когда земные условия, таким образом, допустили оледенение, необычная солнечная активность, как предполагается, значительно увеличила количество и серьезность штормов и изменила их местоположение, точно так же, как сейчас происходит во время появления многих солнечных пятен. Если бы такое изменение интенсивности штормов произошло, когда земные условия были неблагоприятными для оледенения, как, например, когда земли были низменными и в средних и высоких широтах были широко распространены эпиконтинентальные моря, оледенения могло бы и не быть. Однако в плейстоцене земные условия допускали оледенение, и поэтому предполагаемое усиление штормового режима привело к образованию огромных ледяных покровов.

Условия, преобладающие во время усиливающихся штормов, были подробно обсуждены в книге *"Земля и Солнце"*. Те, которые, по-видимому, вызвали оледенение, по-видимому, действовали следующим образом: во-первых, штормовые явления несколькими способами понизили температуру поверхности земли. Наиболее важным из них была быстрая восходящая конвекция в центрах циклонических штормов, в результате чего обильное тепло поднималось до высоких уровней, где большая его часть излучалась далеко в космос. Заметное увеличение числа тропических циклонов, сопровождающее усиление солнечной активности, вероятно, имело важное значение в этом отношении. Такие циклоны уносят огромное количество тепла и влаги из тропиков. Влага, конечно, выделяет тепло при конденсации, но поскольку конденсация происходит над поверхностью земли, большая часть тепла улетучивается в космос. Другой причиной низкой температуры было то, что под влиянием предположительно многочисленных штормов плейстоценовых времен испарение над океанами, должно быть, увеличилось. Во многом это связано с тем, что скорость ветров относительно велика во время сильных штормов, и такие ветры являются мощными агентами испарения. Но для испарения требуется тепло, и, следовательно, сильные ветры снижают температуру.^[42]

Вторым важным условием, позволившим усилившимся штормам вызвать оледенение, было расположение следов штормов. Карты Кулмера, проиллюстрированные на рис. 2, предполагают, что значительное увеличение солнечной активности, подобное постулируемому в плейстоцене, могло сместить основную траекторию штормов к полюсу даже больше, чем это

происходит при более мягких изменениях солнечной активности в течение двенадцатилетнего цикла появления солнечных пятен. Если это так, то основная трасса, как правило, пересекала бы Северную Америку через середину Канады, а не вблизи южной границы. Таким образом, количество осадков увеличилось бы примерно на широте центров оледенения Киватина и Лабрадора. Судя по тому, что известно о маршрутах штормов в Европе, основное увеличение интенсивности штормов, вероятно, сосредоточится в Скандинавии. Рисунок 3 в главе V подтверждает это. Напомним, что эта цифра показывает, что происходит с осадками, когда солнечная активность увеличивается. Высокое количество осадков особенно заметно в бореальной зоне штормов, то есть на севере Соединенных Штатов, юге Канады и северо-западе Европы.

Другим важным условием для начала оледенения было бы то, что при большом количестве штормов общее количество осадков, по-видимому, увеличивается, несмотря на несколько более низкую температуру. Во многом это происходит из-за большего испарения. Чрезмерное испарение возникает частично из-за быстроты ветров, как уже говорилось, а частично из-за того факта, что в районах, где воздух чистый, солнце, по-видимому, могло бы действовать более эффективно, чем сейчас. Это произошло бы потому, что во времена обильных солнечных пятен солнце в наши дни имеет более высокую солнечную постоянную, чем во времена более умеренной активности. Вся наша гипотеза основана на предположении, что то, что сейчас происходит во время многих солнечных пятен, усиливалось в ледниковые периоды.

Четвертым условием, которое могло бы вызвать оледенение в результате большой солнечной активности, было бы то, что доля ежегодных осадков, выпадающих в виде снега, увеличилась бы, в то время как доля дождя уменьшилась бы на основном пути штормов. Это возникло бы отчасти из-за того, что штормы располагались бы дальше к северу, чем сейчас, а отчасти из-за снижения температуры из-за усиления конвекции. Снег сам по себе еще больше понизил бы температуру, поскольку снег является отличным отражателем солнечного света. Повышенная облачность, которая будет сопровождать более обильные штормы, также вызовет необычно сильное отражение солнечного света и еще больше понизит температуру. Таким образом, во время многих солнечных пятен сильная тенденция к накоплению снега возникает из-за быстрой конвекции и, как следствие, низкой температуры, из-за северного расположения штормов, из-за повышенного испарения и выпадения осадков, из-за большего процента снежных, а не дождевых осадков, и из-за большой потери тепла из-за отражения от облаков и снега.

Если бы события в начале последнего ледникового периода происходили в соответствии с циклонической гипотезой, как описано выше, одним из неизбежных результатов было бы образование снежных полей. Местами, где снег скапливался бы в особых количествах, были бы центральная Канада, плато Лабрадор и Скандинавия, а также некоторые горные регионы. Как только снежное поле становилось несколько обширным, оно начинало вызывать поразительные климатические изменения в дополнение к тем, которым было обязано своим возникновением.^[43] Например, в снежном поле лето остается относительно холодным. Следовательно, такое поле, вероятно, будет областью высокого давления в любое время года. Тот факт, что снежное поле всегда является местом относительно высокого давления, приводит к появлению дующих поверхностных ветров, за исключением случаев, когда они временно преодолеваются прохождением сильных циклонических штормов. Штормы, однако, как правило, концентрируются вблизи границ льда в течение всего года, вместо того чтобы следовать разными путями в каждое из четырех сезонов. Отчасти это связано с тем, что

циклонические минимумы всегда избегают мест с высоким давлением и, таким образом, вытесняются из районов, где постоянно скапливается снег. С другой стороны, во время большого количества солнечных пятен, как показал Кулмер, основной след шторма имеет тенденцию смещаться в сторону полюса, возможно, из-за электрических условий. Следовательно, когда на севере присутствует снежное поле, минимумы, вместо того чтобы летом мигрировать намного дальше на север, чем зимой, как они это делают сейчас, летом просто толпились бы на снежном поле немного дальше, чем зимой. Таким образом, обильные осадки, которые обычно выпадают во влажном климате вблизи центров минимумов, будут выпадать вблизи наступающего края снежного поля и заставят поле расширяться еще дальше на юг.

Тенденция к накоплению снега на краях снежных полей будет усиливаться не только самими штормами, но и другими условиями. Например, холодность снега, как правило, приводит к быстрой конденсации влаги, приносимой ветрами, которые дуют в направлении центров штормов из низких широт. Опять же, несмотря на общую сухость воздуха над снежным полем, нижний слой воздуха содержит некоторое количество влаги из-за испарения снега днем в ясную солнечную погоду во время антициклонов или максимумов. Там, где этого достаточно, холодная поверхность снежных полей имеет тенденцию образовывать замерзший туман всякий раз, когда снежное поле охлаждается радиацией, как это происходит ночью и во время прохождения максимумов. Такой застывший туман является эффективным отражателем солнечной радиации. Более того, поскольку лед обладает лишь половиной удельной теплоемкости воды и гораздо более прозрачен для нагревания, такой "радиационный туман", состоящий из кристаллов льда, является гораздо менее эффективным удерживающим тепло, чем облака или туман, образованный из незамерзших частиц воды. Неглубокие туманы такого типа описаны несколькими полярными экспедициями. Они явно замедляют таяние снега и, таким образом, способствуют росту ледяного покрова.

По всем этим причинам, пока штормы оставались сильными, плейстоценовые снежники, согласно солнечной гипотезе, должны были углубляться и расширяться. В свое время часть снега превратилась в ледниковый покров. Когда это произошло, рост снежного покрова, а также ледяной шапки, должно быть, ускорился в результате движения ледников. При таких обстоятельствах по мере того, как лед продвигался на юг, к источнику влаги, за счет которой он вырос, область высокого давления, создаваемого его низкой температурой, расширялась. Это заставило бы штормовую трассу двигаться на юг, несмотря на противоположную тенденцию из-за солнца. Когда ледяной покров стал бы очень обширным, трасса была бы перегружена относительно близко к северной границе пояса пассатов. Действительно, плейстоценовые ледяные щиты во время своего максимального расширения простирались почти так же далеко на юг, как широта, которая сейчас отмечает северную границу пояса пассатов летом. По мере того как трасса штормов с ее частым низким давлением и субтропический пояс с его высоким давлением сближались друг с другом, барометрический градиент между ними, предположительно, увеличивался, ветры становились сильнее, а штормы - интенсивнее.

Эта зональная скученность имела бы особое значение летом, в это время она также была бы наиболее выражена. Во-первых, штормы сосредоточились бы далеко от ледяной шапки, которая тогда была бы защищена от солнца покровом тумана и облаков более полно, чем в

любое другое время года. Кроме того, близкое приближение пояса пассатов к поясу штормов привело бы к значительному увеличению количества влаги, забираемой из пояса испарения, в котором преобладают пассаты. В поясе пассатов ясное небо и высокая температура способствуют особенно быстрому испарению. Действительно, несмотря на обширные пустыни, вероятно, что более трех четвертей общего испарения, происходящего в настоящее время на земле, приходится на торговый пояс, площадь которого составляет около половины земной поверхности.

Фактором, который мог бы вызвать этот усиленный отвод влаги на север из пояса пассатов, были бы ветры, дующие в низменности. Согласно циклонической гипотезе, многие из этих минимумов были бы настолько сильными, что временно разрушили бы субтропический пояс высокого давления, который сейчас обычно преобладает между пассатами и зоной западных ветров. Этот пояс даже сейчас часто нарушается тропическими циклонами. Если бы штормы более северных регионов временно разрушили субтропический пояс высокого давления, даже если бы они все еще оставались на его северной стороне, они бы отвлекли часть пассатов. Следовательно, воздух, который сейчас переносится этими ветрами наискось к экватору, будет уноситься по спирали на север, к циклоническим минимумам. Таким образом, количество осадков в зоне шторма на границе относительно холодного ледяного покрова будет значительно увеличено, поскольку большинство ветров из низких широт несут с собой обильную влагу. Такой отток влаги из низких широт, вероятно, объясняет дефицит осадков вдоль теплового экватора во время солнечной активности, как показано на рис. 3. В целом, летние условия, согласно циклонической гипотезе, будут такими, что повышенное испарение в низких широтах будет сочетаться с усилением штормового режима, облачности и тумана в более высоких широтах для сохранения и увеличения накопления льда на границах ледяного щита. Чем сильнее шторм, тем больше это будет соответствовать действительности и тем больше ледяной покров сможет противостоять таянию летом. Такое сочетание осадков и защиты от солнца особенно важно при росте ледяного покрова.

Метеорологу не нужны геологические доказательства того, что трасса шторма была сдвинута к экватору из-за роста ледяного покрова, поскольку он наблюдает подобное смещение всякий раз, когда снежная шапка зимой занимает часть обычного штормового участка. Геолог, однако, может приветствовать геологические доказательства того, что такой резкий сдвиг траектории шторма действительно произошел в плейстоцене. Хармер в 1901 году впервые указал на доказательства, которые были повторены с одобрения Райта из Геологической службы Ирландии в 1914 году.^[44] По мнению этих властей, многочисленные глыбы характерного мела были отложены плейстоценовыми айсбергами вдоль побережья Ирландии. Их распределение показывает, что во время максимального оледенения сильные ветры вдоль южного побережья Ирландии дули с северо-востока, в то время как сегодня они дуют с юго-запада. Такой разворот, по-видимому, мог быть вызван только смещением центра главного штормового маршрута на юг с его нынешнего положения в Северной Ирландии, Шотландии и Норвегии на север Франции, центральную Германию и среднюю Россию. Это означало бы, что в то время как сейчас центры минимумов обычно перемещаются на северо-восток на небольшое расстояние к северу от южной Ирландии, раньше они перемещались на восток на небольшое расстояние к югу от Ирландии. Следует напомнить, что в северном полушарии ветры по спирали становятся слабыми против часовой стрелки и что они наиболее сильны ближе к центру. Когда центры

проходят недалеко к северу от данной точки, следовательно, сильные ветры дуют с запада или юго-запада, в то время как когда центры проходят чуть южнее этой точки, сильные ветры дуют с востока или северо-востока.

В дополнение к последствиям смещения штормового пути в сторону пояса пассатов, несколько других условий, предположительно, способствовали росту ледяного покрова. Например, понижение уровня моря в результате удаления воды для образования снежников и ледников препятствовало теплым течениям. Это также увеличило скорость эрозии, поскольку было эквивалентно подъему всей суши. Одним из последствий эрозии и выветривания, по-видимому, было уменьшение содержания углекислого газа в атмосфере, поскольку, хотя лед покрывал, возможно, десятую часть суши и в такой степени препятствовал карбонизации, удаление большого количества почвы в результате ускоренной эрозии на остальных девяти десятых, возможно, более чем уравнивало защитный эффект льда. В то же время общее понижение температуры океана, а также суши увеличило емкость океана по содержанию углекислого газа и, таким образом, облегчило поглощение. При температуре 50 °F. вода поглощает на 32% больше углекислого газа, чем при температуре 68 ° C. Высокие волны, вызванные сильными штормами, должно быть, оказали аналогичный эффект в небольших масштабах. Таким образом, процентное содержание углекислого газа в атмосфере предположительно уменьшилось. Менее значимыми, чем эти изменения в земле и воздухе, но, возможно, не пренебрежимо малыми, были повышенная соленость океана, которая сопровождала удаление воды с образованием снега, и увеличение содержания растворенных минералов в обновленных ручьях. Повышенная соленость замедляет глубоководную циркуляцию, как мы увидим в следующей главе. Это увеличивает контрасты от зоны к зоне.

Во времена высокой солнечной активности упомянутые выше агентства, по-видимому, сотрудничали бы, чтобы вызвать продвижение ледяных покровов в более низкие широты. Степень солнечной активности во многом зависит от окончательной протяженности ледяных покровов. Тем не менее, определенные земные условия, как правило, устанавливают пределы, за пределы которых лед не продвинется значительно, если только шторм не будет необычайно сильным. Наиболее очевидным из этих условий является расположение океанов и пустынь или полузасушливых регионов. Продвижение европейского ледяного щита на юго-запад и продвижение лабradorского щита на юго-восток в Америке были остановлены Атлантикой. Полузасушливая местность Великих равнин, вызванная их расположением с подветренной стороны Скалистых гор, остановила продвижение ледяного покрова Киватин на юго-запад. Продвижение европейского ледяного щита на юго-восток, по-видимому, было остановлено по тем же причинам. Прекращение наступления в такой местности было бы вызвано не только небольшими осадками и обильным солнечным светом, но и сухостью воздуха, а также способностью пыли поглощать солнечное тепло. Предположительно, большое количество пыли было бы занесено из засушливых регионов проходящими циклоническими штормами и рассеялось бы по льду.

Продвижение льда также замедляется из-за пересеченного рельефа, как в Аппалачах на севере Пенсильвании. Такой рельеф, помимо противодействия физическому препятствию движению льда, обеспечивает голые склоны, обращенные к югу, которые эффективно прогреваются солнцем. Такие теплые склоны неблагоприятны для продвижения ледников. Пересеченный рельеф, возможно, был столь же эффективен, как и высота Аппалачей, в создании заметного северного выступа на окраине ледника в Пенсильвании. Там, где ледники лежат в горных

долинах, продвижению за пределы определенной точки часто препятствует скопление льда в устьях ущелий. Испарение и таяние происходят быстрее там, где ледник широкий и тонкий, чем там, где он узкий и толстый, как в ущелье. Опять же, там, где топография или расположение океанов или засушливых районов делают ледниковые доли длинными и узкими, удлинение доли, по-видимому, проверяется несколькими способами. Ближе к концу лепестка таяние и испарение быстро увеличиваются, потому что планетарные западные ветры с большей вероятностью преодолеют ледниковые ветры и пронесутся через длинный, узкий лепесток, чем через широкий. Пересекая лепесток, они ускоряют испарение и, вероятно, уменьшают облачность с последующим усилением таяния. Более того, хотя минимумы редко пересекают широкий ледяной покров, они пересекают узкую доли. Например, Нансен отмечает, что сильные минимумы иногда пересекают узкую южную часть ледяного покрова Гренландии. Чем длиннее лепесток, тем больше вероятность того, что минимумы пересекут его, вместо того чтобы следовать по его краю. Минимумы, пересекающие лепесток, не приносят столько снега к вершине, сколько те, которые следуют за краем. Следовательно, удлинение замедляется и в конечном итоге прекращается даже без изменения общего климата Земли.

В силу этих различных причин продвижение льда в течение нескольких эпох ледникового периода могло быть примерно одинаковым, даже если продолжительность периодов штормов и низких температур была разной. Действительно, они могли бы быть неравнозначными, даже если бы периоды отличались как по интенсивности, так и по продолжительности. Различия в периодах, по-видимому, проявлялись бы не столько в протяженности льда, сколько в глубине ледниковой эрозии и в толщине конечных морен, пойменных равнин и других ледниковых или гляцио-речных образований.

Завершив рассмотрение условий, приведших к продвижению льда, давайте теперь рассмотрим состояние Северной Америки во время максимального оледенения.^[45] На площади почти в четыре миллиона квадратных миль, занимающей практически всю северную половину континента и часть южной половины, как показано на рис. 6, поверхность представляла собой монотонную и почти ровную ледяную равнину, покрытую снегом. При взгляде с большой высоты все части, за исключением краев, должны иметь однородно белый и сверкающий вид. Однако по краям, за исключением севера, белизна была неравномерной, поскольку вид, должно быть, включал не только свежий снег, но и движущиеся облака и грязный снег или лед. Вдоль границ, где происходило таяние, предположительно наблюдалась большая или меньшая пятнистость из-за моренного материала или ледниковых обломков, вынесенных на поверхность в результате сдвига льда и его выпадения. Вдоль сухой юго-западной границы также возможно появление многочисленных темных пятен из-за пыли, нанесенной ветром на лед.

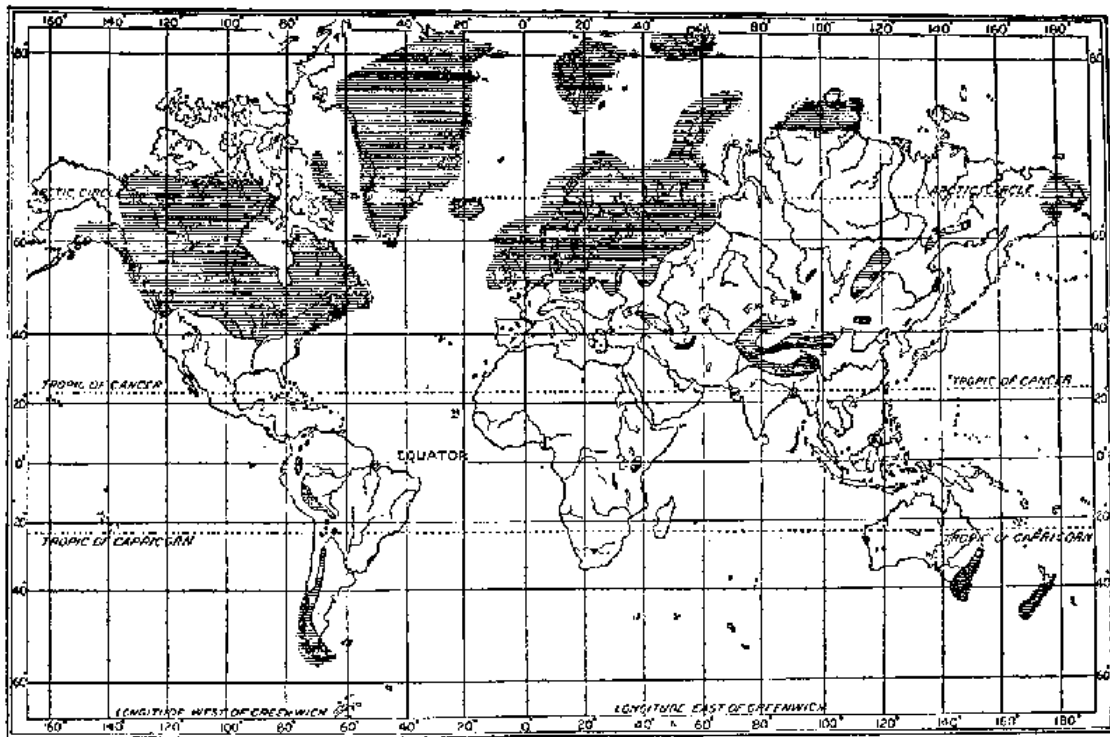


Рис. 6. Распределение ледниковых покровов плейстоцена.
(В честь Шухерта.)

Большой белый лист с неровной каймой имел примерно круглую форму с центром в центральной Канаде. Тем не менее, было много отклонений от идеально круглой формы. Некоторые из них были вызваны океанами, поскольку, за исключением северной Аляски, лед простирался в океан на всем пути от Нью-Джерси к северу до Вашингтона. На юге топографические условия заставили границу отклониться от простой дуги. От Нью-Джерси до Огайо она поворачивала на север. В долине Миссисипи он простирался далеко на юг; действительно, большая часть широкого клина между реками Огайо и Миссури была занята льдом. Однако от 37 ° широты, недалеко от слияния Миссури и Миссисипи, ледяная полоса простиралась почти строго на север вдоль Миссури до центральной части Северной Дакоты. Затем она простиралась на запад до Скалистых гор. Оледенение низменностей дальше к западу было обильным вплоть до западного Вашингтона. В Скалистых горах, Каскадах и Сьерра-Неваде оледенение было распространено на юге вплоть до Колорадо и южной Калифорнии соответственно, и снежные поля, несомненно, были достаточно обширными, чтобы сделать эти хребты белыми лентами. Между этими высокими хребтами лежала огромная незалежная область, но даже в самом Большом бассейне, несмотря на его нынешнюю засушливость, на некоторых хребтах были ледники, в то время как великие озера широко расширились.

На этом обширном снежном поле ледяной покров медленно выползал наружу, возможно, со средней скоростью полфута в день, но варьируясь от почти нуля зимой на севере до нескольких футов в день летом на юге.^[46] Силой, вызвавшей движение, было наличие льда, скопившегося недалеко от краев. Однако почти наверняка в Канаде не было большого купола от центра наружу, как предполагали некоторые ранние авторы. Для такого купола потребовалось бы,

чтобы толщина льда вблизи его центра составляла много тысяч футов. Это невозможно из-за того, что лед имеет больший объем, чем вода (около 9% вблизи точки замерзания). Следовательно, при воздействии достаточного давления он переходит в жидкую форму. Поскольку трение и внутреннее тепло, как правило, поддерживают тепло в нижней части ледника даже в холодных регионах, существует вероятность того, что только при очень особых условиях континентальный ледяной покров был намного толще примерно 2500 футов. В Антарктиде, где температура намного ниже, чем, вероятно, была достигнута в Соединенных Штатах, ледяной покров почти ровный, и несколько экспедиций преодолели сотни миль практически без изменения высоты. Во время путешествия Шеклтона почти к Южному полюсу он столкнулся с общим подъемом на 3000 футов за 1200 миль. Горы, однако, проступают сквозь лед даже вблизи полюса, и геологи приходят к выводу, что лед не очень толстый даже в самой холодной точке мира, на Южном полюсе.

Вдоль кромки льда наблюдалось движение двух видов, гораздо более быстрое, чем медленное сползание льда. Один из них был вызван выносом снега наружу, переносимым дующими сухими ветрами, а другой, что более важно, был вызван прохождением циклонических штормов. Вдоль границы ледяного покрова, за исключением севера, шторм, по-видимому, неотступно следовал за штормом. Насколько мы можем судить, их движение было относительно медленным до тех пор, пока они не приблизились к южной оконечности доли Миссисипи, но когда эта точка была пройдена, они двигались гораздо быстрее, поскольку тогда они могли двигаться в сторону, а не в сторону от далекого северного пути, который предписывает солнце при высокой солнечной активности. Штормы принесли на ледяное поле много снега, возможно, иногда в благоприятных местах до ста футов в год, что в настоящее время регистрируется для некоторых зим в Сьеррах. Даже в неглубоком межгорном Великом бассейне, по-видимому, выпало значительное количество осадков, возможно, вдвое больше, чем в его нынешнем скудном количестве. Осадков было достаточно, чтобы образовалось множество озер, одно из которых было в десять раз больше Большого Соленого озера; и трава, несомненно, была в изобилии на многих склонах, которые сейчас сухие и бесплодные. Относительно обильные осадки в Большом бассейне, вероятно, были вызваны в первую очередь увеличением числа штормов, но, возможно, на них также сильно повлияло их медленное продвижение на восток. Предположительно, минимумы в этом регионе двигались медленно не только потому, что они были замедлены и свернули со своего обычного пути из-за холодного льда на востоке, но и потому, что летом в районе между снежными полями Сьерра на западе и снежными полями Скалистых гор и долины Миссисипи на востоке было относительно тепло. Следовательно, обычно это было место низкого давления и, следовательно, пронизывающих ветров. Медленно движущиеся минимумы гораздо более эффективны, чем быстро движущиеся, для отвода влаги на северо-запад из Мексиканского залива, поскольку они дают влаге больше времени для спирального перемещения сначала на северо-восток под влиянием обычных юго-западных ветров, затем на северо-запад и, наконец, на юго-запад по мере приближения к центру шторма. В случае нынешних минимумов, прежде чем насыщенный влагой воздух сможет описать такой кругооборот сначала на восток, а затем на запад, центр шторма почти всегда перемещается на восток через Скалистые горы и даже через Великие равнины. Результатом этого является регулярное уменьшение количества осадков в северном, северо-западном и западном направлениях от Мексиканского залива.

Вдоль той части окраин ледников, где на протяжении более 3000 миль североамериканский лед входил в Атлантический и Тихий океаны, мириады огромных глыб откололись и уплыли в виде

величественных айсбергов, чтобы разбросать валуны далеко по океанскому дну и растаять в более теплых краях. Там, где граница простиралась над землями, из-под льда вытекали многочисленные ручьи, молочно-белые от каменной муки, и образовывали огромные пойменные равнины и долины из гравия и песка. Тут и там, сразу за льдом, окраинные озера странной формы занимали долины, которые были перекрыты наступающим льдом. Во многих из них уровень воды поднимался до тех пор, пока не достигал какой-нибудь низкой точки водораздела, а затем разливался, образуя пороги и водопады. Действительно, многие водопады на востоке Соединенных Штатов и Канады образовались именно таким образом, и немало ручьев сейчас текут по горным хребтам, а не параллельно им, как в доледниковые времена.

В зоне к югу от континентального ледяного щита растительная и животная жизнь бореальных, прохладно-умеренных и теплоумеренных регионов любопытным образом смешалась. Вереск и полярная ива вытеснили вяз и дуб; овцебык, волосатый мамонт и сурок боролись с оленями, бурундуками и вонючками за шанс выжить. Вблизи льда на склонах, подверженных холодным ледниковым штормам, доминировали бореальные виды-иммигранты, но недалеко, в более охраняемых районах, виды, которые раньше обитали там, держались особняком. В Европе во время двух последних наступлений великого ледникового покрова пещерный человек также боролся с свирепыми животными и более суровым климатом, чтобы поддерживать жизнь в районе, пригодность для жизни в котором долгое время снижалась.

Следующий шаг в нашей истории оледенения - описать исчезновение ледяных покровов. Когда снижение солнечной активности привело к соответствующему уменьшению интенсивности штормов, несколько факторов, предположительно, объединились, чтобы вызвать исчезновение льда. Большинство их результатов противоположны тем, которые вызвали оледенение. Однако следует иметь в виду несколько особых аспектов, некоторые из которых обсуждались в книге *"Земля и Солнце"*. Уменьшение интенсивности штормов уменьшает восходящую конвекцию, скорость ветра и испарение, и эти изменения, если они произошли, должны были объединиться, чтобы повысить температуру нижнего слоя воздуха за счет уменьшения отвода тепла. И снова уменьшение количества и интенсивности тропических циклонов, по-видимому, уменьшило количество влаги, переносимой в средние широты, и, таким образом, уменьшило количество осадков. Уменьшение количества снегопадов на ледяных покровах при уменьшении интенсивности штормов, вероятно, было очень важным. Количество осадков на ледяных покровах, по-видимому, еще больше уменьшилось из-за изменений в интенсивности штормов в средних широтах. Когда штормовая интенсивность уменьшается, минимумы проходят менее определенный путь, как показывают карты Кулмера, и в среднем проходят более южным путем. Таким образом, вместо всех минимумов, способствующих образованию снега на ледяном покрове, большая часть относительно немногих оставшихся минимумов принесет дожди в районы к югу от ледяного покрова. По мере уменьшения интенсивности штормов пассаты и западные течения, вероятно, становились более устойчивыми и, таким образом, приносили в высокие широты больше теплой воды, чем когда их часто прерывали штормы. Более устойчивые юго-западные ветры, должно быть, вызвали большее перемещение атмосферного, а также океанического тепла в высокие широты. Потепление, вызванное этими двумя причинами, вероятно, было главной причиной исчезновения европейского ледяного щита и тех, что находятся на тихоокеанском побережье Северной Америки. Однако два больших американских ледяных щита и ледники в других местах с подветренной стороны высоких горных хребтов, вероятно, исчезли главным образом из-за уменьшения количества осадков. Если бы не

было циклонических штормов, вытягивающих влагу на север из Мексиканского залива, большая часть Северной Америки к востоку от барьера Скалистых гор была бы засушливой. Следовательно, уменьшение интенсивности штормов было бы особенно эффективным способом вызвать исчезновение ледяных покровов в этих регионах.

О том, что испарение было особенно важным фактором, вызвавшим исчезновение льда из центра Киватина, свидетельствует относительно небольшое количество материала, отсортированного водой в его дрейфе. В Южной Дакоте, например, стратифицировано менее 10% наносов.^[47] С другой стороны, Солсбери считает, что, возможно, треть лабрадорского дрейфа в восточном Висконсине грубо стратифицирована, около половины этого количества в Нью-Джерси и более половины дрейфа в Западной Европе.

Когда активность солнца начнет уменьшаться, все эти условия, а также некоторые другие, объединившись, приведут к исчезновению ледяных покровов. Шаг за шагом с их исчезновением улучшение климата будет прогрессировать до тех пор, пока будет продолжаться период бездействия солнца и штормы будут редки. Если бы бездействие продолжалось достаточно долго, это привело бы к довольно мягкому климату в высоких широтах, хотя до тех пор, пока возникали континенты, эта мягкость не была бы экстремальной. Начало очередного цикла повышенного возмущения солнца с заметным усилением интенсивности штормов положило бы начало новой ледниковой эпохе. Таким образом, черед ледниковых и межледниковых эпох могла продолжаться до тех пор, пока солнце неоднократно нарушалось.

ГЛАВА VIII

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЛЕДНИКОВЫХ ПЕРИОДОВ

Обрисовав в общих чертах появление ледяных покровов и их исчезновение, мы теперь готовы обсудить некоторые проблемы, представляющие непреодолимый климатический интерес. Обсуждение будет сгруппировано по пяти разделам: (I) локализация оледенения; (II) внезапное наступление оледенения; (III) особые колебания высоты снежного покрова и оледенения; (IV) озера и другие свидетельства влажности в безледниковых регионах в ледниковые эпохи; (V) оледенение на уровне моря и в низких широтах в пермскую и протерозойскую эры. Обсуждение, возможно, самой сложной из всех климатических проблем оледенения - проблемы чередования холодных ледниковых и мягких межледниковых эпох - было отложено до следующей, заключительной главы этой книги. Это не может быть должным образом рассмотрено, пока мы не обратимся к истории солнечных возмущений.

I. Первая проблема, локализация ледяных покровов, возникает из-за того факта, что как в плейстоценовый, так и в пермский периоды оледенение было удивительно ограниченным. Ни в один из периодов не были покрыты льдом все части высоких широт; однако в обоих случаях оледенение происходило в обширных регионах в более низких широтах. Было предложено много объяснений этой локализации, но большинство из них совершенно неадекватны. Даже гипотезы, имеющие доказанную ценность, такие как гипотезы о вариациях содержания вулканической пыли и углекислого газа в атмосфере, не учитывают локализацию. Однако циклоническая форма солнечной гипотезы, по-видимому, дает удовлетворительное объяснение.

Распределение льда в последний ледниковый период хорошо известно и показано на рис. 6. Четыре пятых покрытой льдом площади, которая составляла более или менее восемь миллионов квадратных миль, находились вблизи границ Северной Атлантики на востоке Северной Америки и северо-западе Европы. Лед распространился из двух крупных центров Северной Америки: Лабрадорского к востоку от Гудзонова залива и Киватинского к западу от залива. Было также много ледников в западных горах, особенно в Канаде, в то время как подчиненные центры находились в Ньюфаундленде, Адирондаках и Белых горах. Основной ледяной покров в своем максимальном распространении достиг 39° южной широты в Канзасе и Кентукки и 37° в Иллинойсе. Огромные валуны были перенесены более чем на тысячу миль от их источника в Канаде. Протяженность на север была несколько меньше. Действительно, северная окраина континента, по-видимому, была относительно малопокрыта льдом, а большая часть Аляски не покрыта льдом. Почему северный Кентукки должен был покрыться льдом, в то время как северная Аляска - нет?

В Европе главным центром, из которого двигался континентальный ледник, было скандинавское нагорье. Она продвинулась через впадину, ныне занятую Балтийским морем, на юг России и через впадину Северного моря в Англию и Бельгию. Альпы были центром значительного значения, и были небольшие центры в Шотландии, Ирландии, Пиренеях, Апеннинах, на Кавказе и Урале. В Азии многочисленные хребты также содержали крупные ледники, но практически все оледенение было альпийского типа, и очень небольшая часть обширной северной низменности была покрыта льдом.

В южном полушарии оледенение в низких широтах было менее заметным, чем в северном полушарии. Большая часть увеличения площадей льда была приурочена к горам, которые сегодня получают обильные осадки и все еще содержат небольшие ледники. Действительно, за исключением относительно небольшого оледенения в Австралийских Альпах и на Тасмании, большая часть плейстоценового оледенения в южном полушарии была просто продолжением существующих ледников, таких как ледники южного Чили, Новой Зеландии и Анд. Тем не менее, довольно обширное оледенение существовало гораздо ближе к экватору, чем сейчас.

При рассмотрении локализации плейстоценового оледенения необходимо принимать во внимание три основных фактора, а именно температуру, топографию и осадки. Отсутствие оледенения на значительной части арктических регионов Северной Америки и Азии позволяет с уверенностью утверждать, что низкая температура не была определяющим фактором. Помимо Антарктиды, самым холодным местом в мире является северо-восточная Сибирь. Там в течение семи месяцев средняя температура ниже 0°C , в то время как среднее значение за весь год ниже -10°C . Если температура в течение ледникового периода составляла в среднем 6°C ниже, чем сейчас, как обычно предполагается, температура в этой части Сибири была бы ниже нуля по крайней мере девять месяцев из двенадцати, даже если бы не было снежного покрова, который сохранял бы холодное лето. Однако даже при таких условиях оледенения не произошло, хотя в других местах, таких как части Канады и северо-западная Европа, произошло интенсивное оледенение там, где средняя температура намного выше.

Рельеф местности, по-видимому, оказал гораздо большее влияние на локализацию оледенения, чем температура. Однако его эффект всегда заключался в том, чтобы вызывать оледенение именно там, где его можно было бы ожидать, а не в неожиданных местах, как это произошло на самом деле. Например, в Северной Америке западная сторона Канадских

Скалистых гор подверглась интенсивному оледенению, поскольку там выпало много осадков из-за того, что западные ветры с Тихого океана вынуждены отдавать свою влагу по мере подъема. Точно так же западная сторона Сьерра-Невады была покрыта гораздо более сильным оледенением, чем восточная. Аналогичным образом наветренные склоны Альп, Кавказа, Гималаев и многих других горных хребтов подверглись обширному оледенению. Низкая температура, по-видимому, не была причиной этого оледенения, поскольку в таком случае трудно понять, почему по обе стороны различных хребтов не наблюдалось равного процентного увеличения размеров их ледяных полей.

Из того, что было сказано относительно температуры и рельефа, очевидно, что колебания количества осадков имели гораздо большее отношение к оледенению, чем колебания температуры. В арктических низменностях и на подветренной стороне гор незначительное развитие оледенения, по-видимому, было вызвано скудостью осадков. С другой стороны, на наветренной стороне гор заметное увеличение количества осадков, по-видимому, привело к обильному оледенению. Такое увеличение количества осадков, должно быть, зависит от увеличения испарения, и это может быть вызвано либо относительно высокой температурой, либо сильным ветром. Поскольку температура в ледниковый период была ниже, чем сейчас, мы, по-видимому, вынуждены приписать увеличение количества осадков усилению ветров. Если бы западные ветры с Тихого океана усилились и принесли больше влаги на западную сторону Канадских Скалистых гор, или если бы аналогичные ветры усилили снегопад на верхних склонах Альп или Тянь-Шаня, ледники простирались бы ниже, чем сейчас, без какого-либо изменения температуры.

Хотя неспособность низких температур вызвать оледенение и относительная незначительность гор на северо-востоке Канады и северо-западе Европы опровергают большинство гипотез о ледниках, они согласуются с гипотезой циклонических явлений. Ответ этой гипотезы на проблему локализации ледяных покровов, по-видимому, можно найти в некоторых картах штормового режима и количества осадков в зависимости от солнечной активности. На рис. 2 на юге Канады наблюдается заметный пояс повышенной штормовой активности с большим количеством солнечных пятен. Сравнение этого с серией карт, приведенных в книге *"Земля и Солнце"*, показывает, что пояс штормов имеет тенденцию мигрировать на север в соответствии с увеличением активности атмосферы Солнца. Если бы солнце было достаточно активным, пояс максимальной штормовой активности, по-видимому, проходил бы через Киватинский и Лабрадорский центры оледенения, а не значительно южнее их, как в настоящее время. Предположительно, он пересечет другой центр в Гренландии, а затем пересечет четвертый из великих центров плейстоценового оледенения в Скандинавии. Однако пересечь северную Азию ему удалось бы не больше, чем сейчас, из-за огромной области высокого давления, которая образуется там зимой. Когда ледяные щиты расширялись от основных центров оледенения, пояс штормов смещался на юг и наружу. Таким образом, это могло бы привести к возникновению небольших центров ледников, таких как Патрициан между Гудзоновым заливом и озером Верхнее, или центров в Ирландии, Корнуолле, Уэльсе и северных Уральских горах. Однако по мере продвижения основных ледяных щитов второстепенные центры будут преодолены, и вся масса льда сольется в одно огромное пространство в атлантической части каждого из двух континентов.

В этой связи, возможно, было бы неплохо кратко рассмотреть самую последнюю гипотезу относительно роста и, следовательно, локализации оледенения. В 1911 году и более полно в

1915 году, Хоббс,^[48] выдвинул антициклоническую гипотезу о происхождении ледяных покровов. Большое достоинство этой гипотезы состоит в том, что она акцентирует внимание на том факте, что ледяные щиты являются ярко выраженными антициклоническими областями высокого давления. Это подтверждается сильными продувающими ветрами, которые преобладают по их краям. Такие ветры, конечно, должны уравниваться направленными внутрь ветрами на высоких уровнях. Многочисленные наблюдения доказывают, что это так. Например, воздушные шары, запущенные Барковым вблизи границы антарктического ледяного щита, показывают наличие порывистых ветров, хотя они редко возникают ниже высоты 9000 метров. Обширные данные, собранные Гервенем на побережье Гренландии, указывают на то, что на высоте около 4000 метров преобладают дующие ветры. На этой высоте начинаются порывистые ветры, частота которых увеличивается до тех пор, пока на высоте более 5000 метров они не станут более распространенными, чем исходящие. Следует, однако, отметить, что как в Антарктиде, так и в Гренландии, хотя ветры на высоте менее тысячи метров обычно дуют наружу, наблюдаются частые и решительные отклонения от этого правила, так что "переменные ветры" довольно часто упоминаются в отчетах экспедиций и зондированиях с воздушного шара.

Несомненные антициклонические условия, на которые Хоббс таким образом обращает внимание ученых, по его мнению, требуют особого механизма для производства снега, питающего ледники. Он предполагает, что ветры, которые дуют к центрам ледяных покровов на высоких уровнях, несут необходимую влагу, за счет которой растут ледники. Предполагается, что когда воздух опускается в центрах максимумов, он охлаждается при достижении поверхности льда и, следовательно, отдает свою влагу в виде мельчайших кристаллов. Этот вывод сомнителен по нескольким причинам. Во-первых, Хоббс, похоже, не осознает важности переменных ветров, которые, как он цитирует исследователей Арктики и Антарктики, довольно часто описываются на краях ледяных покровов. Это один из многих признаков того, что циклонические штормы довольно часты на границах льда, но не внутри него. Таким образом, вблизи кромки льда действительно наблюдается отчетливая и достаточная форма осадков, или именно там, где мы могли бы ожидать из-за толщины ледяного покрова.

Еще одно соображение, которое ставит под серьезное сомнение антициклоническую гипотезу о ледяных покровах, - это небольшое количество влаги, возможное в максимумах из-за их низкой температуры. Предположим, в качестве аргумента, что температура в середине ледяного покрова составляет в среднем 20 ° F. Вероятно, это намного выше фактического факта и, следовательно, неоправданно благоприятствует антициклонической гипотезе. Предположим также, что понижение температуры от поверхности земли вверх происходит со скоростью 1 ° F. на каждые 300 футов, что на 50 процентов меньше фактической нормы для воздуха с небольшим содержанием влаги, например, в холодных регионах. Тогда на высоте 10 000 футов, где начинают ощущаться набегающие ветры, температура составит -20 ° F. При такой температуре воздух способен удерживать примерно 0,166 гран влаги на кубический фут при полном насыщении. Это чрезвычайно малое количество влаги, и даже если бы вся она выпала в осадок, вряд ли смог бы образоваться ледник. Однако он, по-видимому, не выпадет в осадок, потому что, когда такой воздух опускается в центр антициклона, он нагревается адиабатически, то есть за счет сжатия. Достигнув поверхности, он имел бы температуру 20 ° и был бы способен удерживать 0,898 гран водяного пара на кубический фут; другими словами, его относительная влажность составляла бы около 18 процентов. Ни при каких разумных предположениях верхний слой воздуха в центре ледяного покрова, по-видимому, не достигает поверхности с относительной влажностью более 20 или 25 процентов. Такой воздух не может отдавать влагу.

Напротив, он поглощает его и имеет тенденцию уменьшать, а не увеличивать толщину слоя льда и снега. Но после того, как избыточное тепло, полученное при спуске, было потеряно в результате излучения, теплопроводности и испарения, воздух может перенасытиться влагой, накопленной в теплом состоянии. Хоббс сообщает, что исследователи Антарктиды и Гренландии часто наблюдали конденсат на своей одежде. Если такая влага не выводится непосредственно из тел самих людей, то, по-видимому, она забирается с ледяного покрова опускающимся воздухом, а не добавляется к ледяному покрову воздухом с высоты.

Связь всего этого с локализацией ледяных покровов такова. Если антициклоническая гипотеза Хоббса о росте ледников верна, то, по-видимому, ледяные щиты должны расти там, где температура самая низкая, а области высокого давления наиболее устойчивы; например, на севере Сибири. Также представляется, что, насколько позволяет топография, ледяные щиты должны равномерно распространяться во всех направлениях; следовательно, ледяной покров должен быть столь же заметен к северу от центров Киватина и Лабрадорейана, как и к югу, что ни в коем случае не так. Опять же, в горных регионах, таких как ледниковые районы Аляски и Чили, оледенение не должно быть ограничено наветренным склоном гор так близко, как это имеет место на самом деле. В каждом из этих случаев область оледенения была достаточно большой, так что там, вероятно, существовала настоящая антициклоническая зона, сравнимая с той, которая сейчас преобладает над южной Гренландией. В обоих местах корреляция между оледенением и горными хребтами кажется слишком тесной, чтобы поддерживать гипотезу антициклона, поскольку наблюдения показывают, что дующие ветры, которые по этой гипотезе приносят влагу, возникают на высотах, намного превышающих высоты всех горных хребтов, кроме самых высоких.

II. Внезапное наступление оледенения - еще одна проблема, которая была камнем преткновения на пути каждой ледниковой гипотезы. В своей книге *"Климаты геологической эпохи"* Шухерт утверждает, что окаменелости почти не предупреждают о приближающейся катастрофе. Если бы оледенение было вызвано исключительно подъемом или другими земными изменениями, помимо вулканизма, Шухерт считает, что оно происходило бы медленно, и стадии, предшествующие оледенению, повлияли бы на жизнь в достаточной степени, чтобы быть зафиксированными в горных породах. Он считает, что внезапность наступления оледенения является одним из сильнейших аргументов против углекислотной гипотезы оледенения.

Однако, согласно циклонической гипотезе, внезапность наступления оледенения - это всего лишь то, чего можно было бы ожидать, исходя из того, что происходит сегодня. Изменения на солнце происходят внезапно. Цикл солнечных пятен длится всего одиннадцать или двенадцать лет, и даже этот короткий период активности начинается более внезапно, чем спадает. И снова климатический отчет, полученный по росту деревьев, как показано на рис. 4 и 5, также показывает, что заметные изменения климата начинаются быстрее, чем исчезают. В этой связи, однако, следует помнить, что солнечная активность может проявляться различными способами, о чем будет рассказано более подробно позже. При определенных условиях интенсивность штормов может увеличиваться и уменьшаться медленно.

III. Высота снежного покрова и оледенения предоставляет еще один способ проверки ледниковых гипотез. Хорошо известно, что во времена оледенения линия снежного покрова была понижена повсюду, но меньше всего вблизи экватора. Например, по словам Пенка,

постоянный снег в Альпах лежал на 4000 футов ниже, чем сейчас, в то время как у экватора в Венесуэле он был всего на 1500 футов ниже нынешнего уровня. Это неравномерное понижение нелегко объяснить какой-либо гипотезой, зависящей исключительно от понижения температуры. Согласно гипотезам об углекислом газе и вулканической пыли, температура, предположительно, была снижена почти одинаково на всех широтах, но немного сильнее на экваторе, чем где-либо еще. Если бы оледенение было вызвано временным уменьшением излучения, получаемого от солнца, как того требует гипотеза теплового солнца, и более длительными периодами гипотезы Кролла, понижение было бы явно наибольшим на экваторе. Таким образом, согласно всем этим гипотезам, линия снежного покрова должна была быть больше всего опущена на экваторе, а не меньше всего.

Циклоническая гипотеза объясняет меньшее понижение снеговой линии на экваторе уменьшением количества осадков. Эффективность выпадения осадков в этом отношении иллюстрируется существующей большой разницей в высоте снежного покрова на влажной и сухой сторонах гор. На влажной восточной стороне Анд, недалеко от экватора, линия снежного покрова проходит на высоте 16 000 футов; на сухой западной стороне - на высоте 18 500 футов. Опять же, хотя влажная сторона Гималаев лежит к югу, снежная линия имеет высоту 15 000 футов, в то время как дальше к северу, на сухой стороне, она составляет 16 700 футов.^[49] Тот факт, что линия снежного покрова ниже у окраины Альп, чем ближе к центру, указывает в том же направлении. О влиянии всего этого на ледниковый период можно судить, взглянув еще раз на рис. 3 в главе V. Это показывает, что во времена активности солнечных пятен и, следовательно, усиления штормового режима количество осадков уменьшается вблизи экватора тепла, то есть там, где средняя температура за весь год самая высокая. В настоящее время огромные размеры северных континентов и, как следствие, высокая температура на них летом приводят к тому, что тепловой экватор находится к северу от "настоящего" экватора, за исключением тех мест, где Австралия тянет его на юг.^[50] Однако, когда большая часть северных континентов была покрыта льдом, экватор тепла и истинный экватор, вероятно, были намного ближе, чем сейчас, поскольку континенты не могли стать такими горячими. Если это так, то уменьшение количества экваториальных осадков, сопровождающее усиление штормовой активности по всему миру в целом, должно происходить ближе к истинному экватору, чем показано на рис. 3. Следовательно, что касается только осадков, мы должны фактически ожидать, что линия снежного покрова вблизи экватора будет немного подниматься во время ледниковых периодов. Однако необходимо учитывать еще один фактор. Следует помнить, что данные Кеппена показывают, что во время солнечной активности температура земли на экваторе падает сильнее, чем в более высоких широтах. Если бы этот эффект был усилен, то линия снега была бы ниже. Таким образом, фактическое положение снежной линии на экваторе в ледниковые периоды, по-видимому, является комбинированным эффектом уменьшения количества осадков, которое привело бы к повышению снежной линии, и более низкой температуры, которая привела бы к ее понижению.

Прежде чем оставить эту тему, не мешало бы напомнить, что относительное уменьшение количества осадков в экваториальных широтах в ледниковые эпохи, вероятно, было вызвано отводом влаги из пояса пассатов. Это отклонение, по-видимому, было связано с большим количеством тропических циклонов и с тем фактом, что циклонические штормы средних широт также забирали много влаги из пояса пассатов летом, когда северное положение солнца приближало этот пояс к трассе штормов, которая была вынуждена оставаться к югу от ледяного покрова. Такой отвод влаги из пояса пассатов должен уменьшить количество водяного пара,

переносимого пассатами в экваториальные регионы; следовательно, это уменьшило бы количество осадков в поясе так называемых экваториальных затиший, который лежит вдоль теплового экватора, а не вдоль географического экватора.

Еще одна фаза вертикального распределения оледенения была предметом значительных дискуссий. В Альпах и во многих других горах верхний предел оледенения плейстоценового периода, по-видимому, был не выше, чем сегодня. Это по-разному интерпретировалось. Однако, по-видимому, это можно адекватно объяснить уменьшением количества осадков на больших высотах в холодные периоды. И это несмотря на то, что количество осадков в целом увеличилось с увеличением интенсивности штормов. Низкая температура ледникового периода, по-видимому, вызвала конденсацию на меньших высотах, чем сейчас, и большая часть осадков выпадала на нижних склонах гор, способствуя образованию нижних ледников, в то время как на самых высоких ледниках их выпало немного. Выше умеренной высоты во всех высоких горах количество осадков уменьшается быстро. В большинстве случаев уменьшение начинается на высоте менее 3000 футов над основанием основного склона, при условии, что склон крутой. Чем холоднее воздух, тем ниже высота, на которой это происходит. Например, зимой температура намного ниже, чем летом. Действительно, на больших высотах в Альпах зимой солнечно, даже там, где ниже много облаков.

IV. Наличие обширных озер и других свидетельств плювиального климата во время ледниковых периодов в незамерзающих регионах, которые обычно засушливы, является еще одним фактом, который большинство ледниковых гипотез не могут удовлетворительно объяснить. За пределами ледяного покрова во многих регионах, по-видимому, выпадало необычно много осадков в ледниковые эпохи. Доказательств этому предостаточно, включая многочисленные заброшенные береговые линии соленых озер и обилие грубого материала в дельтах рек и поймах рек. Дж. Д. Уитни,^[51] в интересном, но заброшенном томе, был одним из первых, кто систематизировал доказательства такого рода. Совсем недавно Free^[52] усилил это. По его словам, в районе Большого бассейна Соединенных Штатов шестьдесят два бассейна либо содержат безошибочные свидетельства наличия озер, либо принадлежат к одной из трех групп великих озер, названных ниже. Две из них, группы озер Лахонтан и Бонневиль, включают двадцать девять существующих бассейнов, в то время как третья, цепь Оуэнс-Сирлз, содержала по меньшей мере пять крупных озер, самое низкое из которых находится в Долине Смерти. В западной и центральной Азии встречается гораздо большая серия соленых озер, и большинство из них окружены отмелями на высоких уровнях. Многие из них описаны в *"Исследованиях в Туркестане"*, *"Пульсе Азии"* и *"Палестине и ее преобразовании"*. Было много споров относительно того, действительно ли эти озера относятся к ледниковому периоду, как утверждает, например, К. Э. П. Брукс, или к какому-то другому периоду. Однако доказательства того, что озера расширялись вместе с расширением льда, кажутся убедительными.

Согласно более старым ледниковым гипотезам, более низкая температура, которая постулируется как причина оледенения, почти наверняка означала бы меньшее испарение над океанами и, следовательно, меньшее количество осадков в ледниковые периоды. Чтобы противодействовать этому, единственным способом повышения уровня озер было бы то, что более низкая температура привела бы к меньшему испарению с их поверхностей. Однако представляется совершенно невозможным, чтобы понижение температуры, которое обычно считается не более чем на 10 ° C, могло нейтрализовать уменьшение количества осадков, а также вызвать огромное расширение большинства озер. Например, древнее озеро Бонневиль

было более чем в десять раз больше своего современного остатка, Большого Соленого озера, а его средняя глубина более чем в сорок раз больше.^[53] Многие небольшие озера в Старом Свете расширились еще больше.^[54] Например, в восточной Персии многие бассейны, в которых сейчас вообще нет озер, покрыты обширными залежами озерной соли и окружены старыми озерными утесами и пляжами. В северной Африке преобладают аналогичные условия.^[55] Другие, но менее очевидные свидетельства более обильных осадков в регионах, которые сейчас засушливы, обнаружены в толстых слоях гравия, песка и мелкого ила в аллювиальных отложениях пойм и дельт.^[56]

Циклоническая гипотеза предполагает, что усиление интенсивности штормов объясняет плювиальный климат в регионах, которые сейчас засушливы, точно так же, как это объясняет оледенение в регионах ледяных щитов. Рис. Следует помнить, что 2 и 3 иллюстрируют, что происходит, когда солнце активно. Солнечная активность сопровождается усилением интенсивности штормов на юго-западе Соединенных Штатов, как раз в том регионе, где наиболее многочисленны приподнятые полосы уменьшенных соленых озер. На рис. 3 такое же состояние наблюдается в районе соленых озер в Старом Свете. Судя по этим картам, которые иллюстрируют то, что произошло с тех пор, как велись тщательные метеорологические записи, увеличение солнечной активности сопровождается увеличением количества осадков на значительной части территорий, которые сейчас являются полузасушливыми и пустынными регионами. Такие осадки сразу же привели бы к повышению уровня озер. Позже, когда в Европе и Америке сформировались ледяные щиты, области высокого давления, вызванные таким образом, могли оттеснить главный пояс штормов так далеко на юг, что он пролегал бы над теми же самыми засушливыми регионами. Увеличение числа тропических ураганов во времена обильных солнечных пятен также может оказывать влияние на климат регионов, которые в настоящее время являются засушливыми. В ледниковый период некоторые из ураганов, вероятно, проносились далеко над землями. Многочисленные тропические циклоны Австралии, например, являются основным источником осадков на этом континенте.^[57] Некоторые из более сильных местных циклонов приносят за день или два больше осадков, чем другие источники за год.

V. Возникновение широкомасштабного оледенения вблизи тропиков в течение пермского периода, как показано на рис. 7, вызвало много дискуссий. Недавнее открытие оледенения на таких низких широтах, как 30° в протерозое, соответственно, имеет большое значение. Во всех случаях возникновение оледенения в низких и средних широтах, вероятно, обусловлено одними и теми же общими причинами. Несомненно, положение и высота гор имели какое-то отношение к этому вопросу. Однако само по себе это кажется недостаточным. Сегодня самый высокий хребет в мире, Гималаи, почти не покрыт льдом, хотя на первый взгляд может показаться, что его южный склон расположен почти идеально в этом отношении. Некоторые участки возвышаются более чем на 20 000 футов, а на некоторых более низких склонах выпадает 400 дюймов осадков в год. Небольшие размеры гималайских ледников, несмотря на эти благоприятные условия, по-видимому, в значительной степени обусловлены сезонным характером муссонных ветров. Сильные зимние муссоны приводят к тому, что около полугода бывает очень сухо с ясным небом и сухими ветрами из внутренних районов Азии. Во всех низких широтах солнце стоит высоко в небе в полдень, даже зимой, и, таким образом, довольно эффективно тает снег в ясную погоду. Это крайне неблагоприятно для оледенения. Набегающие южные муссоны приносят всю свою влагу в середине лета как раз в то время, когда она наименее эффективна для образования снега. Условия, подобные тем, которые сейчас

преобладают в Гималаях, должны сопровождать любое значительное поднятие земель, которое приводит к образованию высоких гор и больших континентов в субтропических и средних широтах. Следовательно, одно только поднятие не может объяснить обширное оледенение в субтропических широтах в течение перми и протерозоя.

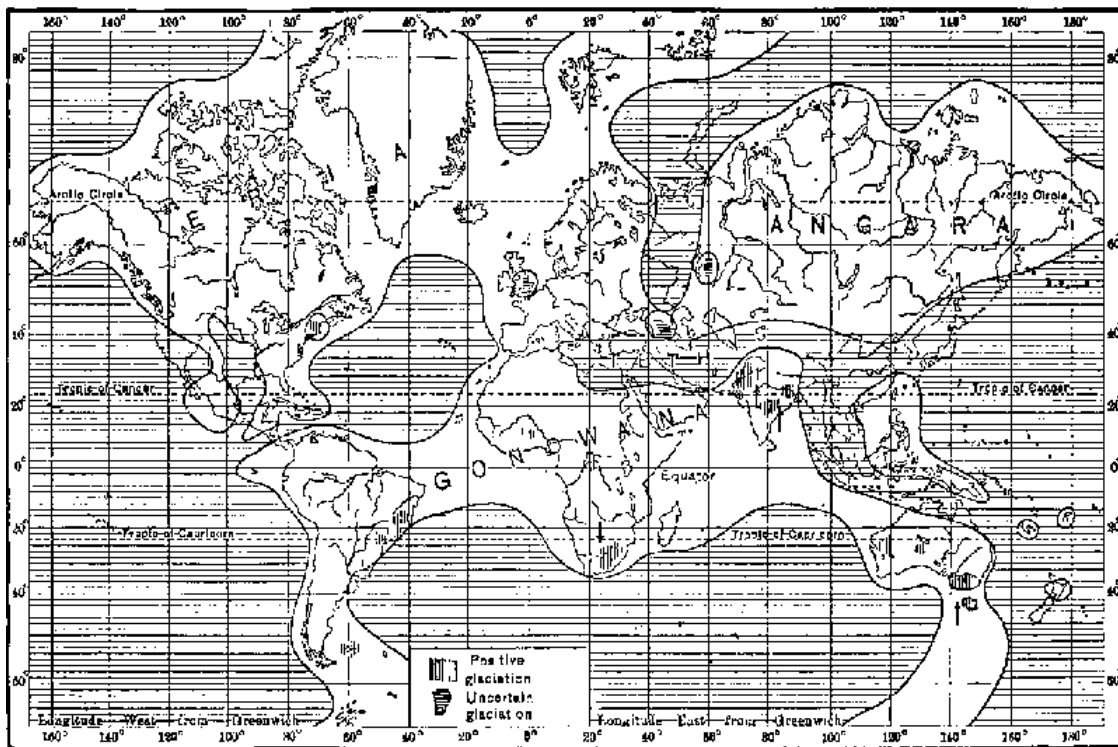


Рис. 7. География Перми и оледенение.
(По Шухерту.)

Предположение о значительном общем понижении температуры также недостаточно для объяснения оледенения в субтропических широтах. Во-первых, для этого потребовалось бы понижение температуры на много градусов, гораздо большее, чем в плейстоценовый ледниковый период. Морские окаменелости пермского периода, однако, не указывают ни на какие подобные условия. Во-вторых, если бы земли были широко распространены, как это, по-видимому, было в пермском периоде, общее понижение температуры скорее уменьшило бы, чем увеличило нынешнюю незначительную эффективность муссонов в производстве оледенения. Муссоны зависят от разницы между температурами суши и воды. Если бы общая температура была понижена, снижение было бы гораздо менее выраженным в океанах, чем на суше, поскольку вода имеет тенденцию сохранять равномерную температуру не только из-за своей подвижности, но и из-за большого количества тепла, выделяемого при замерзании или расходуемого при испарении. Следовательно, общее понижение температуры сделало бы контраст между континентами и океанами меньшим, чем в настоящее время летом, поскольку температура суши приблизилась бы к температуре океана. Это уменьшило бы силу набегающих летних муссонов и, таким образом, частично перекрыло бы поступление влаги. Доказательства того, что это действительно произошло в холодном четырнадцатом веке, уже приводились в главе VI. С другой стороны, зимой на суше было бы намного холоднее, чем сейчас, а в океанах лишь немного холоднее, так что сухие муссоны холодного сезона набирали бы силу и также продолжались бы дольше, чем в настоящее время. В дополнение ко всему этому, сам факт

низкой температуры означал бы общее уменьшение количества водяного пара в воздухе. Таким образом, почти со всех точек зрения простое понижение температуры, по-видимому, исключается как причина пермского оледенения. Более того, если бы пермский или протерозойский ледниковые периоды были настолько холодными, что земли выше 30 ° широты большую часть времени были покрыты снегом, нормальные приземные ветры в субтропических широтах были бы в основном направлены к экватору, точно так же, как сейчас зимние муссоны. Следовательно, влаги для питания снежных полей, дающих начало ледникам, будет мало или вообще не будет.

Марсден Мэнсон и другие предположили, что повышенная общая облачность могла быть причиной субтропического оледенения пермского и протерозойского периодов. Допустим на данный момент, что может наблюдаться повсеместная постоянная облачность, это не предотвратит и не нейтрализует порывистые антициклонические ветры, столь характерные для больших снежных полей. Следовательно, согласно гипотезе общей облачности, не было бы запаса влаги, способного вызвать оледенение в низких широтах. Действительно, постоянная облачность во всех более высоких широтах, по-видимому, лишила бы Гималаи большей части их нынешней влаги, поскольку летом во внутренней части Азии не стало бы жарко и не было бы муссонов. На самом деле, ветров всех видов, по-видимому, было бы мало, поскольку они почти полностью возникают из-за контрастов температуры и, следовательно, атмосферного давления. Единственный способ вызвать ветер и, следовательно, осадки - это задействовать какое-то другое воздействие, такое как циклонические штормы, но это было бы отклонением от предположения, что оледенение возникло из-за облачности.

Давайте теперь посмотрим, как циклоническая гипотеза объясняет оледенение в низких широтах. Сначала мы рассмотрим земные условия ранней перми, последнего периода оледенения в этих широтах. Геологи почти единодушны в том, что земли были исключительно обширными, а также высокогорными, особенно в низких широтах. Одним из свидетельств этого является наличие обильных конгломератов, состоящих из огромных валунов. Также вероятно, что содержание углекислого газа в воздухе в раннепермский период было сведено к минимуму из-за огромного количества угля, образовавшегося в предыдущий период. Это привело бы к снижению температуры и, таким образом, создало бы условия, благоприятные для оледенения, как только усиление солнечной активности вызвало бы необычные штормы. Если бы шторм стал экстремальным, когда земные условия, таким образом, повсеместно благоприятствовали оледенению, это, вероятно, привело бы к оледенению в низких широтах. Многочисленные и интенсивные тропические циклоны унесли бы огромное количество влаги из тропиков, точно так же, как это происходит сейчас, когда активно солнце, но в гораздо большем масштабе. Влага осаждалась бы на экваториальных склонах субтропических горных хребтов. На больших высотах эти осадки были бы в виде снега даже летом. Однако тропические циклоны, как показано в книге *"Земля и солнце"*, возникают осенью и зимой, а также летом. Например, в Бенгальском заливе это число, зарегистрированное в октябре, составляет пятьдесят, что является самым большим показателем за любой месяц; в то время как в ноябре оно составляет тридцать четыре, а в декабре - четырнадцать по сравнению со средним показателем в сорок два месяца с июля по сентябрь. С января по март, когда число солнечных пятен в среднем превышало сорок, число тропических ураганов было на 143 процента больше, чем когда среднее число солнечных пятен было ниже сорока. В течение месяцев с апреля по июнь, которые также были периодами значительных снежных осадков, тропических ураганов было в среднем на 58 процентов больше при количестве солнечных пятен выше сорока, чем при

количестве пятен ниже сорока, в то время как с июля по сентябрь разница составила 23 процента. Даже в это время года на более высоких склонах выпадает немного снега, в то время как повышенная облачность из-за многочисленных штормов также способствует сохранению снега. Таким образом, значительное увеличение частоты солнечных пятен сопровождается усилением интенсивности тропических ураганов, особенно в более прохладные осенние и весенние месяцы, и приводит не только к большому накоплению снега, но и к уменьшению его таяния из-за более обильных облаков. В такие периоды, как пермский период, общая низкая температура из-за быстрой конвекции и нехватки углекислого газа, предположительно, соединялась с расширением суши, создавая огромные области высокого давления над землями в средних широтах зимой, и, таким образом, приводила к смещению более северного, или среднеширотного, типа циклонических штормов на экваториальную сторону континентов в это время года. Это привело бы к увеличению количества осадков зимой, а также в месяцы, когда обрушиваются тропические ураганы. Многие другие обстоятельства привели бы к аналогичному результату. Например, общая низкая температура привела бы к покрытию моря льдом в более низких широтах, чем сейчас, и помогла бы создать области высокого давления в средних широтах, тем самым унося штормы далеко на юг. Если бы морская вода была свежее, чем сейчас, как это, вероятно, было в значительной степени в протерозое и, возможно, в некоторой степени в перми, более высокая точка замерзания также способствовала бы расширению льда и помогала удерживать штормы вдали от высоких широт. Если к этому добавить распределение суши и моря таким образом, что объем теплых океанических течений, текущих из низких широт в высокие, уменьшился, как, по-видимому, и имело место, то, по-видимому, нет никаких трудностей в объяснении субтропического расположения основного оледенения как в перми, так и в протерозое. Усиление штормовой обстановки, по-видимому, является ключом ко всей ситуации.

Можно упомянуть еще об одной возможности, хотя на ней не следует делать особого акцента. В книге *"Земля и Солнце"* было показано, что основной маршрут шторма как в северном, так и в южном полушариях не является концентрическим с географическими полюсами. Оба трека примерно концентричны соответствующим магнитным полюсам, факт, который может быть важен в связи с гипотезой об электрическом воздействии солнца на земные штормы. Известно, что магнитные полюса значительно отклоняются. Такое блуждание приводит к изменениям направления магнитной стрелки из года в год. В 1815 году компас в Англии показывал 24 с половиной ° западной долготы от Северной широты, а в 1906 году 17 ° 45' западной долготы. Такое отклонение, по-видимому, означает изменение местоположения северного магнитного полюса на много миль. Определенные изменения в ежедневном распространении электромагнитных явлений над океанами привели Бауэра и его коллег к предположению, что магнитные полюса могут даже подвергаться небольшому ежедневному перемещению в ответ на изменения взаимного положения земли и солнца. Таким образом, по-видимому, существует вероятность того, что заметное изменение местоположения магнитного полюса, например, в пермские времена, могло иметь некоторую связь со сдвигом местоположения пояса штормов. Следует четко понимать, что пока нет доказательств каких-либо таких изменений, и этот вопрос поднят просто для того, чтобы привлечь внимание к возможному направлению исследования.

Любая гипотеза о пермском и протерозойском оледенении должна объяснять не только оледенение низких широт, но и отсутствие оледенения и накопление красных слоев пустынь в высоких широтах. Уже представленные факты, по-видимому, объясняют это. Оледенение не могло происходить интенсивно в высоких широтах отчасти потому, что большую часть года

воздух был слишком холодным, чтобы удерживать много влаги, но еще больше потому, что ветры по большей части, должно быть, дули наружу из холодных северных районов, а пояс циклонических штормов был вытеснен из высоких широт. Из-за этих условий количество осадков, по-видимому, ограничивалось относительно небольшим количеством штормов в течение лета. Следовательно, в высоких широтах, должно быть, преобладали обширные пустынные районы. В настоящее время к северу от Гималаев и связанных с ними хребтов преобладает сильная засушливость, и красные слои накапливаются в центрах великих пустынь, таких как Таримская котловина и Закаспийская. Покраснение происходит не из-за первоначального характера породы, а из-за интенсивного окисления, как явствует из того факта, что по краям пустыни и там, где случайные наводнения уносят наносы далеко вглубь песка, материал имеет обычные коричневатые оттенки. Однако, как только человек выходит в места, где песок долгое время находился на воздухе, он становится розовым, а затем красным. Такие условия, возможно, привели к высокой степени окисления в знаменитых пермских красных отложениях. Если бы воздух ранней перми содержал необычный процент кислорода из-за выделения этого газа огромными зарослями растений, которые образовали уголь в предшествующую эпоху, как считал вероятным Чемберлин, тенденция к образованию красных зарослей еще более усилилась бы.

Однако не следует предполагать, что эти условия полностью ограничат оледенение субтропическими широтами. Наличие раннего пермского оледенения в Северной Америке в районе Бостона, на Аляске и на Фолклендских островах в Южной части Атлантического океана доказывает, что по крайней мере локально было достаточно влаги для образования ледников вблизи побережья в относительно высоких широтах. Возможность этого полностью зависела бы от формы суши и последующего течения океанских течений. Даже в этих высоких широтах могли бы возникать циклонические штормы, если бы их не сдерживали условия высокого давления, подобные описанным выше.

Морская фауна пермского возраста в высоких широтах была интерпретирована как указание на умеренные температуры океана. Этот момент требует дальнейшего изучения. Теплые океаны во времена слабой солнечной активности являются необходимым следствием циклонической гипотезы, как будет показано позже. Нынешние холодные океаны, по-видимому, являются ожидаемым результатом плейстоценового оледенения и нынешнего относительно нарушенного состояния солнца. Если бы внезапное возмущение привело солнечную атмосферу в сильное волнение в течение нескольких тысяч лет в пермские времена, оледенение могло бы произойти, как описано выше, пока океаны были еще теплыми. Фактически, их тепло увеличило бы испарение, в то время как сильные циклонические штормы и сильные ветры вызывали бы проливные дожди и сохраняли бы прохладу воздуха, постоянно повышая его до высоких уровней, где он быстро излучал бы свое тепло в космос.

Тем не менее, пока невозможно определить, насколько теплыми были океаны в фактическое время пермского оледенения. Некоторые фауны, о которых ранее сообщалось как о пермских, теперь известны как значительно более древние. Более того, другие фауны несомненного пермского возраста, вероятно, не являются строго одновременными с оледенением. Так далеко в геологической летописи, что очень сомнительно, можем ли мы датировать окаменелости в пределах, скажем, 100 000 лет. И все же разницы в 100 000 лет было бы более чем достаточно, чтобы предположить, что окаменелости жили либо до, либо после оледенения, либо в межледниковую эпоху. Известно, что произошла одна такая эпоха, а о девяти других

свидетельствует взаимная стратификация ледниковых и морских отложений в восточной Австралии. Теплые течения, которые текли к полюсу в межледниковые эпохи, должно быть, способствовали скорейшей реинтродукции морской фауны, вытесненной во время оледенения. В совокупности пермское оледенение, по-видимому, объясняется циклонической гипотезой ничуть не хуже, чем плейстоцен. В обоих этих случаях, а также в различных пульсациях исторических времен, представляется необходимым просто преувеличивать то, что происходит сегодня, чтобы воспроизвести условия, которые преобладали в прошлом. Если бы условия, которые сейчас преобладают во времена минимумов солнечных пятен, были увеличены, они дали бы мягкие условия межледниковых эпох и подобных периодов. Если условия, которые сейчас преобладают во времена максимумов солнечных пятен, немного усилить, то они, по-видимому, вызовут периоды климатического стресса, подобные периодам четырнадцатого века. Если их увеличить еще больше, то результатом, по-видимому, будут ледниковые эпохи, подобные плейстоценовым, а если их увеличить еще больше, то результатом будет пермское или протерозойское оледенение. Другие факторы действительно должны быть благоприятными, поскольку климатические изменения очень сложны и, несомненно, обусловлены стечением обстоятельств. В этой книге основное внимание уделяется тому, что среди этих нескольких обстоятельств всегда следует учитывать изменения в циклонических штормах, вызванные, по-видимому, активностью атмосферы Солнца.

ГЛАВА IX

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЛЕССА

Одно из самых замечательных образований, связанных с ледниковыми отложениями, состоит из обширных пластов мелкозернистого желтоватого материала, переносимого ветром, называемого лессом. Очевидно, при его формировании преобладали несколько своеобразные климатические условия. В настоящее время подобные отложения залегают только у подветренной окраины великих пустынь. Примером могут служить знаменитые лессовые отложения Китая с подветренной стороны пустыни Гоби. Однако в период плейстоцена лесс скапливался в широкой зоне вдоль границы ледяного покрова на максимальной протяженности. В Старом Свете он простирался от Франции через Германию и через Черноземный регион России в Сибирь. В Новом Свете лессом покрыта еще большая территория. В долине Миссисипи десятки тысяч квадратных миль покрыты слоем толщиной более двадцати футов, а во многих местах приближающимся к ста футам. Ни североамериканские, ни европейские месторождения не связаны с пустыней. Действительно, лесса отсутствует в западных и более сухих частях великих равнин и лучше всего развита в хорошо орошаемых штатах Айова, Иллинойс и Миссури. Часть лесса перекрывает неледниковые материалы великой центральной равнины, но северные части перекрывают дрейфовые отложения первых трех оледенений. Несколько следов лесса связаны с Кансанским и Иллинойским, вторым и третьим оледенениями, но большая часть американского лесса, по-видимому, сформировалась примерно во время Айовского или четвертого оледенения, в то время как лишь небольшая часть перекрывает дрейфовые слои висконсинской эпохи. Лесс наиболее густой у края Айовского тилля и постепенно утоньшается как к северу, так и к югу.

Истончение к югу происходит резко вдоль водоразделов, но очень постепенно вдоль более крупных долин. Действительно, лесс в изобилии встречается вдоль утесов Миссисипи, особенно восточного утеса, почти до Мексиканского залива.^[58]

В настоящее время общепризнано, что весь типичный лесс переносится ветром. Однако все еще остается много вопросов относительно времени его возникновения и, следовательно, косвенно относительно его климатических последствий. Несколько американских и европейских студентов предположили, что лесс относится к межледниковым временам. С другой стороны, Пенк пришел к выводу, что лесс образовался незадолго до начала ледниковых эпох; в то время как многие американские геологи считают, что лесс накапливался, когда ледяные щиты были примерно максимального размера. У. Дж. Макги, Чемберлин и Солсбери, Кейс и другие склоняются к этой точке зрения. В этой главе выдвигается гипотеза о том, что он образовался в еще одно возможное время, а именно сразу после отступления льда.

Эти четыре гипотезы относительно времени происхождения лесса подразумевают следующие различия в его климатических соотношениях. Если лесс образовался в типичные межледниковые эпохи или ближе к концу таких эпох, то, по-видимому, должна была преобладать глубокая общая засушливость, чтобы уничтожить растительность и, таким образом, позволить ветру поднимать достаточное количество пыли. Если бы лесс образовался во времена сильного оледенения, когда ледники приносили большое количество мелкого материала в вытекающие ручьи, требовалась бы меньшая засушливость, но, должно быть, существовали резкие контрасты между сезонами дождей летом, когда таял снег, и сухими сезонами зимой, когда штормы были загнаны далеко на юг высоким давлением ледников. Чередующиеся наводнения и засухи, таким образом, затронули бы обширные территории вдоль ручьев. Отсюда возникает гипотеза о том, что ветер уносил лесс с пойм ручьев во времена максимального оледенения. Если бы лесс образовался во время быстрого отступления льда, по-прежнему преобладали бы чередующиеся летние паводки и зимние засухи, но ветры также могли бы приносить много материала не только с пойменных равнин, но и с отложений, обнаженных в результате таяния льда и еще не покрытых растительностью.

Можно кратко изложить доказательства в пользу и против нескольких гипотез. В поддержку гипотезы о межледниковом происхождении лесса Шимек и другие утверждают, что дрейф ледников, залегающих под лессом, обычно свидетельствует о том, что между исчезновением льда и отложением лесса прошло некоторое время. Например, многочисленные раковины наземных улиток в лессе не похожи на те, что сейчас встречаются в более холодных регионах, но напоминают те, что встречаются в более сухих регионах. Вполне вероятно, что если бы они представляли ледниковую эпоху, то были бы истощены холодом, как улитки далеких северных регионов. Гравийное покрытие, рассмотренное ниже, по-видимому, является убедительным свидетельством эрозии в период между отступлением льда и отложением лесса.

Обращаясь ко второй гипотезе, а именно, что лесс накапливался ближе к концу межледниковой эпохи, а не в середине ее, мы можем последовать примеру Пенка. Окаменелости млекопитающих, по его мнению, доказывают, что лесс образовался в то время, когда в регионе обитали бореальные животные, поскольку они включают останки волосатого мамонта, шерстистого носорога и северного оленя. С другой стороны, в типичных межледниковых слоях неподалеку обнаружены останки видов, характерных для более мягкого климата, таких как слон, носорог меньшего размера и олень. В связи с этими фактами следует отметить, что иногда под

лессом обнаруживаются остатки тундровой растительности и деревьев, в то время как в самом лессе встречаются некоторые степные животные, такие как обыкновенный суслик или спермафил. Пенк интерпретирует это как указание на прогрессирующее высыхание, достигающее кульминации непосредственно перед наступлением следующего ледяного покрова.

Доказательства, выдвинутые в пользу гипотезы о том, что лесс образовался, когда оледенение было близко к своему максимуму, включают в себя тот факт, что если лесс не представляет собой смыв со льдов Айовы, то мало что еще может это представлять, и, предположительно, смыв должен был быть. Кроме того, распределение лесса по берегам ручьев предполагает, что большая часть материала поступала с пойм перегруженных ручьев, вытекающих из тающего льда.

Хотя есть некоторые аргументы в пользу гипотезы о том, что лесс возник (1) строго в межледниковое время, (2) в конце межледниковых эпох и (3) во времена полного оледенения, каждая гипотеза значительно ослабляется доказательствами, подтверждающими другие. Свидетельства бореальных животных, по-видимому, опровергают гипотезу о том, что лесс образовался в середине мягкой межледниковой эпохи. С другой стороны, гипотеза Пенка о лессе в конце межледникового периода не учитывает определенные характеристики самой нижней части лессовых отложений и подстилающего рельефа. Вместо нормальных долин и последующего быстрого осушения, которое должно было развиваться до конца долгой межледниковой эпохи, поверхность, на которой лежит лесс, представляет собой множество ненарушенных впадин. Некоторые из них можно увидеть на открытых берегах, в то время как о многих других можно судить по присутствию раковин прудовых улиток тут и там в вышележащем лессе. Прудовые улитки, предположительно, жили в неглубоких бассейнах, занимавших углубления в неровной поверхности, оставленные льдом. Еще одна причина ставить под сомнение, образовался ли лесс в конце межледниковой эпохи, заключается в том, что эта гипотеза не дает обоснованных данных о происхождении материала, из которого состоит лесс. Вблизи Альп, где залежи лесса невелики и где ледники, вероятно, сохранялись в межледниковые эпохи и, таким образом, поставляли материал для пойм в больших количествах, это не представляется важным. Однако в обширном бассейне верхней Миссисипи, а также в Черноземном регионе России, по-видимому, нет другого способа получить большую массу материала, составляющего лесс, кроме как предполагая существование больших пустынь с наветренной стороны. Но, по-видимому, свидетельств существования таких пустынь, где они могли бы быть эффективными, практически нет. Минералогический характер лесса айовского возраста доказывает, что материал произошел из гранитных пород, которые составляли большую часть дрейфа. Ближайшие обширные выходы гранита находятся в юго-западной части Соединенных Штатов, почти в тысяче миль от Айовы и Иллинойса. Но лесс наиболее толст у кромки льда и утоньшается к юго-западу и в других направлениях, тогда как, если бы его источником была юго-западная пустыня, его максимальная толщина, вероятно, была бы у границы пустыни.

Приведенные выше свидетельства кажутся несовместимыми не только с гипотезой о том, что лесс образовался в конце межледниковой эпохи, но и с идеей о том, что он возник во времена максимального оледенения либо из речных отложений, либо из любого другого источника. Еще одним и более убедительным основанием для этого последнего вывода является вероятность и почти уверенность в том, что когда лед продвигался вперед, его фронт пролегал вблизи

областей, где растительность была не намного тоньше, чем та, которая преобладает сегодня при сходных климатических условиях. Если бы средняя температура ледниковых максимумов составляла всего 6 ° С. более низкие, чем сегодня, условия сразу за ледяным фронтом, когда он находился в лессовом регионе от южного Иллинойса до Миннесоты, были бы подобны тем, которые сейчас преобладают в Канаде от Нью-Брансуика до Виннипега. Растительность там сильно отличается от травянистой, полузасушливой растительности, свидетельства которой обнаружены в лессах. Считается, что корни и стебли такой травянистой растительности способствовали образованию столбчатой структуры, которая позволяет лессу стоять на почти вертикальных поверхностях.

Теперь мы готовы рассмотреть вероятность того, что лесс накапливался в основном во время отступления льда. Такое отступление подвергло зону дрейфа выходящим ледниковым ветрам. Большинство ледниковых гипотез, таких как гипотеза о подъеме или истощении углекислого газа, требуют постепенного отступления льда едва ли быстрее, чем растительность могла бы проникнуть на заброшенную территорию. С другой стороны, согласно солнечно-циклонической гипотезе, климатические изменения могли быть внезапными, и, следовательно, отступление льда могло происходить гораздо быстрее, чем развитие растительности. В настоящее время материалы, переносимые ветром, добываются из мест, где растительность скудна. Скудная растительность на хорошей почве, это правда, обычно возникает из-за засушливости, но может также возникнуть из-за того, что с момента воздействия воздуха на почву прошло недостаточно времени, чтобы почва достаточно выветрилась для поддержания растительности. Даже когда выветривание имело полную возможность, например, когда обнажаются песчаные отмели, илистые равнины и поймы, растительность пускает корни очень медленно. Более того, штормы и сильные ветры могут препятствовать распространению растительности, что наблюдается на песчаных пляжах даже в регионах с повышенной влажностью, таких как Нью-Джерси и Дания. Таким образом, представляется, что если отступление льда не было таким же медленным, как наступление растительности, то бесплодная область большей или меньшей ширины должна была граничить с отступающим льдом и образовывать идеальный источник лесса.

Несколько других свидетельств, по-видимому, подтверждают вывод о том, что лесс образовался во время отступления льда. Например, Шимек, который почти всю жизнь изучал айовский лесс, подчеркивает тот факт, что у его основания часто наблюдается скопление камней и гальки. Это наводит на мысль, что нижележащая почва была размыта до того, как на ней образовался лесс. Первая реакция большинства студентов - предположить, что, конечно же, это произошло из-за проточной воды. Это возможно во многих случаях, но далеко не во всех. Столь обширный слой гравия не мог быть нанесен потоками без разрушения неправильной формы котловин и впадин, свидетельства которых мы видели там, где лесс залегает на ледниковых отложениях. С другой стороны, ветер способен создать аналогичное гравийное покрытие, не нарушая старого рельефа. "Пустынные тротуары" являются заметной особенностью большинства пустынь. Как показал Хоббс, на краях ледяного покрова чаще всего дуют внешние ветры. В Антарктиде и Гренландии они часто достигают скорости восемьдесят миль в час. Однако скорость таких ветров обычно быстро снижается всего в нескольких десятках миль ото льда. Таким образом, их эффект будет заключаться в быстрой эрозии недавно обнаженной поверхности вблизи отступающего льда. Галька осталась бы на месте тротуара, в то время как песок, а затем лесс были бы отложены дальше от льда, где ветры были слабее и где начинала пускать корни растительность. Такое уменьшение скорости ветра может объяснить

случайные вертикальные переходы от гравия через песок к крупному лессу, а затем к обычному мелкому лессу. По мере отступления ледяного покрова ветер в любом конкретном месте постепенно становился менее сильным. По мере того как лед продолжал отступать, область, где отложился лесс, следовала за ним на некотором расстоянии, и, таким образом, каждая часть гравийного покрытия, в свою очередь, была покрыта лессом.

Гипотеза о том, что лесс откладывается во время отступления льда, согласуется со многими другими свидетельствами. Например, это согласуется с бореальным характером останков млекопитающих, как описано выше. Опять же, продвижение растительности в бесплодную зону вдоль передней части льда было бы задержано сильными дующими ветрами. Распространение семян обычных пионерных растений в значительной степени зависит от ветра, но ледниковые ветры уносили бы их прочь ото льда, а не к нему. Ледниковые ветры препятствуют развитию растительности другим способом, поскольку они являются иссушающими ветрами, как и почти все ветры, дующие из более холодного региона в более теплый. Тот факт, что остатки деревьев иногда встречаются на дне лесса, вероятно, означает, что отложения лесса распространились на леса, которые почти наверняка сохранились недалеко от льда. Это кажется более вероятным, чем то, что период сильной засухи перед наступлением ледников уничтожил деревья и превратил их в степи или пустыни. Главный аргумент Пенка в пользу образования лесса до продвижения льда, а не после, состоит в том, что, поскольку лесс отсутствует на самом молодом дрейфовом листе в Европе, он, должно быть, образовался до, а не после последнего, или вюрмского, продвижения льда. Это объясняется двумя причинами. Во-первых, на соответствующем (Висконсинском) листе дрейфа в Америке присутствует лесс — конечно, в небольших количествах, но присутствие несомненно. Во-вторых, нет никаких оснований предполагать, что условия были одинаковыми при каждом наступлении и отступлении льда. Действительно, тот факт, что в Европе, как и в Соединенных Штатах, почти весь лесс образовался в одно и то же время, и лишь небольшая часть связана с другим продвижением льда, ясно указывает против фундаментального предположения Пенка о том, что накопление лесса было вызвано приближением холодного климата.

Убедившись, что лесс, вероятно, образовался во время отступления льда, мы теперь готовы исследовать, какие условия предполагала бы циклоническая гипотеза в лессовых областях на различных стадиях ледникового цикла. Рис. 2 в главе IV дает наилучшее представление о том, что, по-видимому, произойдет в Северной Америке, и события в Европе, по-видимому, будут аналогичными. В течение максимум девяти лет, за которые рис. 2 основано на том, что количество солнечных пятен составляло в среднем семьдесят, в то время как за девять минимальных лет их количество составляло в среднем менее пяти. Кажется справедливым предположить, что максимальные годы отражают средние условия, которые преобладали в прошлом во времена, когда солнце находилось в средней стадии между полной активностью, которая привела к оледенению, и умеренной активностью минимальных лет, которые, по-видимому, отражают межледниковые условия. Это означало бы, что с приближением ледникового периода, но до того, как ледяной покров накопился в какой-либо значительной степени, на полосе в форме полумесяца от Монтаны через Иллинойс до Мэна количество штормов уменьшится на 60% по сравнению с межледниковыми условиями. Это резко контрастирует с увеличением интенсивности штормов, достигающим 75 или даже 100%, как в бореальном поясе штормов в Канаде, так и в субтропическом поясе на юго-западе. Такое уменьшение интенсивности штормов в центральной части Соединенных Штатов, по-видимому, будет наиболее заметно летом, как показано в *Earth and Sun*. Следовательно, это имело бы

максимальный эффект в создании засушливости. Это способствовало бы образованию лесса, но именно в обсуждениях климата, как и в большинстве других тем, наблюдается своеобразный психологический феномен. Каждый видит необходимость объяснения условий, отличных от тех, которые существуют сейчас, но мало кто осознает, что нынешние условия могут быть ненормальными и что они нуждаются в объяснении так же сильно, как и другие. Из-за этой тенденции оледенение обсуждалось с наибольшей полнотой, в то время как многие пренебрегали не только периодами, когда климат земли напоминал нынешний, но и значительно более длительными периодами, когда он был даже мягче, чем сейчас. сомнительно, что засушливость станет настолько сильной, чтобы объяснить такие обширные отложения, которые обнаружены на значительной части бассейна Миссисипи. Это потребовало бы, чтобы сотни тысяч квадратных миль превратились почти в абсолютную пустыню, а маловероятно, чтобы что-либо подобное произошло. Тем не менее, согласно циклонической гипотезе, период непосредственно перед появлением льда в центральной части Соединенных Штатов был бы относительно сухим и в этой степени благоприятным для работы ветра.

По мере того, как климатические условия становились все более суровыми и ледяной покров расширялся, сухость и отсутствие штормов, по-видимому, уменьшались. Причиной, как уже было объяснено, могло быть постепенное продвижение штормов на юг из-за области высокого давления, которая развивалась бы над ледяным щитом. Таким образом, в разгар ледниковой эпохи в районе, где находится лесс, по-видимому, были бы сильные штормы, особенно летом. Следовательно, циклоническая гипотеза не согласуется с идеей большого отложения лесса во время максимального оледенения.

Наконец мы подходим к тому моменту, когда лед начал отступать. Мы уже видели, что не только речные поймы, но и обширные участки свежих ледниковых отложений были бы открыты ветрам и долгое время оставались бы без растительности. В то самое время отступление ледяного покрова, как правило, позволяло штормам следовать путями, определяемыми степенью солнечной активности, вместо далеких южных путей, к которым их ранее вынудило высокое атмосферное давление над расширенным ледяным щитом. Другими словами, условия, показанные на рис. 2 имели бы тенденцию вновь появляться, когда активность солнца уменьшалась и ледяной покров отступал, точно так же, как они появлялись, когда солнце становилось более активным и ледяной покров наступал. Однако на этот раз полусухие условия, возникающие из-за редкости штормов, будут преобладать в регионе ледниковых отложений и широко распространенных речных отложений, лишь немногие из которых будут покрыты растительностью или вообще не будут покрыты. Условия были бы почти идеальными для эоловой эрозии и переноса лесса ветром в районы, немного более удаленные ото льда, где зародилась травянистая растительность.

Циклоническая гипотеза также, по-видимому, дает удовлетворительное объяснение изменениям количества лесса, связанным с несколькими ледниковыми эпохами. Он объясняет это различиями в скорости исчезновения льда, которая, в свою очередь, менялась в зависимости от скорости снижения солнечной активности и интенсивности штормов. Предполагается, что именно по этой причине отложения лесса на Айове гораздо более обширны, чем отложения других эпох, поскольку ледяной покров на Айове, по-видимому, завершил часть своего отступления гораздо более внезапно, чем другие ледяные щиты.^[59] Чем более внезапным было отступление, тем больше была бесплодная территория, где ветер мог собирать мелкие частицы пыли. Временные заносы, возможно, также были настолько

распределены и имели такую интенсивность, что они часто усугубляли состояние, показанное на рис. 2, таким образом, делая центральную часть Соединенных Штатов засушливой вскоре после обнажения большого количества ледниковых отложений. Близость, с которой циклоническая гипотеза согласуется с фактами о лессе, является одним из приятных сюрпризов гипотезы. Первый набросок рис. 2 и первые наброски гипотезы были сформулированы без учета лесса. Однако, насколько теперь можно видеть, оба варианта хорошо согласуются с условиями образования лесса.

ГЛАВА X

ПРИЧИНЫ МЯГКОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КЛИМАТА

При обсуждении климата, как и большинства других тем, наблюдается своеобразный психологический феномен. Каждый видит необходимость объяснения условий, отличных от тех, которые существуют сейчас, но мало кто осознает, что нынешние условия могут быть ненормальными и что они нуждаются в объяснении так же сильно, как и другие. Из-за этой тенденции оледенение обсуждалось с наибольшей полнотой, в то время как было много пренебрежения не только к периодам, когда климат земли напоминал нынешний, но и к значительно более длительным периодам, когда он был даже мягче, чем сейчас.

Насколько важными были периоды мягкого климата в геологические времена, можно судить по относительной продолжительности ледниковых периодов по сравнению с межледниковыми эпохами, и еще больше по гораздо большей относительной продолжительности мягких частей периодов и эр по сравнению с суровыми частями. Недавние оценки Р. Т. Чемберлина^[60] указывают на то, что, согласно общему мнению геологов, средняя межледниковая эпоха плейстоцена была примерно в пять раз длиннее средней ледниковой эпохи, в то время как вся данная ледниковая эпоха была в среднем в пять раз длиннее периода, когда лед был максимальным. Климатические периоды, гораздо более мягкие, продолжительные и монотонные, чем любая межледниковая эпоха, появляются неоднократно в ходе геологической истории. Наша задача в этой главе - объяснить их.

Ноултон^[61] оказал геологии большую услугу, собрав доказательства мягкого типа климата, который снова и снова преобладал в прошлом. Он придает особое значение ботаническим данным, поскольку они относятся к изменчивой атмосфере суши и, следовательно, служат лучшим ориентиром, чем свидетельства о животных, обитавших в относительно неизменных водах океанов. Характер свидетельств уже указывался в различных частях этой книги. Они включают пальмы, древовидные папоротники и множество других растений, которые когда-то росли в регионах, где сейчас слишком холодно, чтобы их можно было поддерживать. Сюда же следует отнести изобилие кораллов, образующих рифы, и других теплолюбивых морских обитателей в широтах, которые сейчас слишком холодны для них. Примером могут служить условия межледниковых эпох в Европе, например, когда в изобилии обитали слоны и гиппопотамы, а также многие виды растений из низких широт. Эти условия указывают не только на то, что климат был теплее, чем сейчас, но и на то, что контраст от сезона к сезону был намного меньше. Действительно, Ноултон заходит так далеко, что утверждает, что "относительная однородность, мягкость и сравнительная ровность климата, сопровождаемая высокой влажностью, преобладали на большей части земли, простираясь до полярных кругов

или за их пределы, в течение большей части геологического времени — по крайней мере, со среднего палеозоя. Это обычное, заурядное, нормальное состояние". ... "Многие считают, что одним из сильнейших аргументов против постепенного охлаждения земного шара и влажного, незонально распределенного климата в эпохи до плейстоцена является обнаружение свидетельств ледникового воздействия практически по всей геологической колонне. В настоящее время известно едва ли меньше дюжины из них, возраст которых варьируется от гуронского периода до эоцена. Тем, кто придерживается этой точки зрения, кажется очень общим предположением, что эти свидетельства ледниковой деятельности следует классифицировать как ледниковые периоды, в значительной степени сопоставимые по эффекту и размаху с плейстоценовым похолоданием, но на самом деле только три из них, по-видимому, имеют масштабы, оправдывающие такое обозначение. Это гуронское оледенение, оледенение "пермо-каменноугольного периода" и оледенение плейстоцена. Остальные, насколько позволяют имеющиеся данные, представляются объяснимыми как более или менее локальные проявления, которые не оказали широкого влияния, например, на температуру океана, распространение жизни и так далее. Они вполне могли относиться к типу обычных горных ледников, что полностью объяснялось местным рельефом и количеством осадков". ... "Если бы солнце было основным источником тепла в доплейстоценовое время, земные температуры по необходимости распределялись бы по зонам, тогда как вся тенденция этой статьи заключалась в представлении доказательств того, что эти температуры были явно не зональными. Отсюда, по—видимому, следует, что солнце - по крайней мере, нынешнее солнце с небольшим углом наклона — не могло быть единственным или даже основным источником тепла, которое согревало ранние океаны".

Ноултон настолько впечатлен широко распространенной ископаемой флорой, которая обычно встречается в средних частях геологических периодов, что, как выразился Шухерт^[62], он пренебрегает свидетельствами существования других видов. В середине периодов и эпох распространение теплых океанов на континенты было наибольшим, в то время как земли были небольшими и, следовательно, имели более или менее островной климат океанического типа. В такое время морская фауна согласуется с флорой, указывая на мягкий климат. Крупные колониеобразующие фораминиферы, каменистые кораллы, покрытые панцирем головоногие моллюски, брюхоногие моллюски и двустворчатые моллюски с толстым панцирем, как правило, сцементированные формы, были распространены на Крайнем Севере и даже в Арктике. Это происходило в силурийский, девонский, пенсильванский и юрский периоды, однако в другие периоды, такие как меловой период и эоцен, разнообразие таких форм в северных регионах было очень сильно сокращено или вообще отсутствовало. Все это, как говорит Шухерт^[62], может означать только то, что Ноултон прав, когда утверждает, что "климатическое районирование, такое, какое у нас было с начала плейстоцена, не существовало в геологические эпохи, предшествующие плейстоцену". Однако это не означает, что существовало "незональное расположение" и что температура океанов была повсюду одинаковой и "не оказывала широкого влияния на распространение жизни".

Студенты-палеонтологи считают, что насколько мы можем судить по изучению растений, существуют свидетельства смены времен года и относительно прохладного климата в высоких широтах. Саговники, например, являются одним из видов, наиболее часто используемых в качестве свидетельства теплого климата. Тем не менее, Виланд,^[63] который всю жизнь изучал эти растения, говорит, что многие из них "вполне могут расти в климате от умеренного до прохладного. Пока о них не будет изучено гораздо больше, они должны, по крайней мере,

считаться столь же бесполезными, как индексы тропического климата ". Вывод таков: "либо они, либо их близкие родственники обладали способностью жить в любом климате. Есть также подозрение, что изучение связанных с ними папоротников может вынудить пересмотреть давно принятый взгляд на универсальность тропического климата на протяжении всего мезозоя ". Наторста цитирует Виланд: "Я думаю... что в то время, когда доминировали гингофиты и цикадофиты, многие из них, должно быть, приспособились и к жизни в холодном климате. В этом я нисколько не сомневаюсь".

Еще одно важное свидетельство, которое Ноултон и другие приводили в качестве доказательства незонального расположения климата в прошлом, - это обширные красные пласты, обнаруженные в протерозое, позднем силуре, девоне, перми и триасе, а также в некоторых третичных формациях. Считается, что они напоминают латерит, красную и сильно окисленную почву, которая в большом изобилии встречается в экваториальных регионах. Ноултон не пытается показать, что красные пласты обладают экваториальными характеристиками в других отношениях, но основывает свой вывод на утверждении, что "красные пласты в настоящее время не образуются ни в одном пустынном регионе". Это, безусловно, ошибка. Как уже было сказано, как в пустынях Закаспия, так и в Такла-Макане цвет песка регулярно меняется от коричневого на границах до бледно-красного далеко в пустыне. Кудзил-Кум, или Красный песок, - местное название. Пески в центре пустыни, по-видимому, первоначально были смыты с тех же гор, что и на границах, и время окрасило их в красный цвет. Поскольку о таком же состоянии сообщают в Аравийской пустыне, создается впечатление, что покраснение характерно для некоторых из величайших пустынь мира. Более того, пласты соли и гипса регулярно обнаруживаются в красных слоях, и вряд ли они могут возникнуть иначе, как в пустынях или в неглубоких, почти не имеющих выхода к морю заливах на побережьях пустынь, как, по-видимому, произошло в силуре, где найдены морские окаменелости с прослоями гипса.

Опять же, Ноултон говорит, что красные грядки не могут указывать на пустыню, потому что растения, встречающиеся в них, "не прищипнуты и не истощены, и они не указывают на ксерофитную адаптацию". Более того, очень значительные залежи угля обнаружены в красных пластах во многих частях мира, что подразумевает наличие болот, но немного выше уровня моря".

Изучающие ботанику пустынь, вероятно, усомнятся в силе этих соображений. Как показал Макдугал^[64], разнообразие растений в пустынях больше, чем во влажных регионах. Преобладают не только ксерофитные пустынные виды, но и галофиты в засоленных районах, и гигрофиты во влажных заболоченных районах, в то время как обычные мезофиты преобладают вдоль водотоков и смываются с гор. В основном сохраняются обычные растения, а не ксерофиты, поскольку они в наибольшем количестве встречаются вблизи ручьев, где происходит осаднение. Что касается болот, то лишь немногие из них имеют больший размер, чем болота Сеистана в Персии, Лобнора в китайском Туркестане и некоторых других посреди азиатских пустынь. Ручьи, текущие с гор в пустыни, почти наверняка образуют большие болота, такие как вдоль реки Тарим в Центральной Азии. Другим примером является озеро Чад в Африке. В нем тоже очень много камыша.

Если свести воедино свидетельства обеих сторон в этом спорном вопросе, то получается, что на протяжении большей части геологического времени существуют некоторые свидетельства зонального распределения климата. Свидетельства принимают форму следов прохладного

климата, смены времен года и пустынь. Тем не менее, есть также убедительные доказательства того, что эти условия были в целом менее интенсивными, чем в настоящее время, и что периоды относительно теплого, влажного климата без значительных сезонных экстремумов преобладали очень широко в течение периодов, намного более длительных, чем те, когда преобладало столь выраженное зональное расположение, как сегодня. Как выразился Шухерт^[65]: "Сегодня разница на суше между тропиками и полюсами составляет примерно от 110 ° до -60 ° F., в океанах от 85 ° до 31 ° F. В геологическом прошлом температура океанов на большей части периодов, вероятно, чаще всего находилась между 85 ° и 55 ° F. В то время как на суше она могла колебаться между 90 ° и 0 ° F. Через редкие промежутки времени крайности, несомненно, были столь же велики, как и сегодня. Следовательно, напрашивается вывод, что во все времена на земле были температурные пояса, варьирующиеся между современной интенсивностью и временами, когда таких поясов почти не было, и в эти последние периоды большая часть земли имела почти равномерно мягкий климат без зим".

Именно этот мягкий климат мы должны сейчас попытаться объяснить. Это заставляет нас задаться вопросом, что произошло бы с климатом Земли в целом, если бы условия, которые сейчас преобладают во времена небольшого количества солнечных пятен, усилились. То, что они могут значительно усилиться, представляется весьма вероятным, поскольку есть веские основания полагать, что помимо цикла образования солнечных пятен атмосфера солнца находится в нарушенном состоянии. Протуберанцы, которые иногда простираются на сотни тысяч миль, кажутся хорошим доказательством этого. Предположим, что атмосфера Солнца должна стать очень спокойной. Это, по-видимому, означало бы, что циклонические штормы были бы гораздо менее многочисленными и менее сильными, чем в нынешнее время минимумов солнечных пятен. Штормы, по-видимому, также будут следовать по траекториям в средних широтах, как это происходит сейчас, когда солнечных пятен меньше всего. Первым следствием такого состояния, если мы можем судить по тому, что происходит в настоящее время, было бы повышение общей температуры земли, потому что штормы подняли бы в воздух меньше тепла.

Сегодня, как показано в книге *"Земля и Солнце"*, разница в средней интенсивности штормов примерно в 10% в периоды максимумов и минимумов солнечных пятен коррелирует с разницей в 3°С температуры на поверхности Земли. Это включает в себя не только фактическое снижение на 0,6 ° C во время максимумов солнечных пятен, но и преодоление эффекта повышенной инсоляции в такие периоды, эффект, который Эббот оценивает примерно в 2,5 ° C. Если бы интенсивность штормов была снижена до половины или четверти от их нынешнего уровня при минимумах солнечных пятен, то не только уменьшились бы потери тепла за счет восходящей конвекции во время штормов, но и уменьшилась бы площадь, покрытая облаками, так что у солнца было бы больше шансов прогреть нижние слои воздуха. Следовательно, среднее повышение температуры может составлять столько же при температуре 5° или 10 °C.

Другим следствием уменьшения штормовой активности могло бы стать усиление так называемых западных ветров, которые в основном дуют с юго-запада в северном полушарии и с северо-запада в южном полушарии, чем в настоящее время. Они не подвергались бы постоянному прерыванию циклоническими ветрами с других направлений, как это происходит сейчас, и имели бы регулярность, подобную пассатам. Этот вывод убедительно подтверждается

в статье Клейтона^[66], которая попала в руки после завершения этой главы. Из своих исследований солнечной постоянной и температуры земли, которые описаны в книге *"Земля и солнце"*, он приходит к следующему выводу: "Результаты этих исследований привели меня к мысли: 1. Что если бы не было изменений в солнечной радиации, атмосферные движения создали бы стабильную систему с воздушным обменом между экватором и полюсом, а также между океаном и сушей, в которой единственными изменениями были бы ежедневные и годовые изменения, приводимые в действие относительными движениями земли и солнца. 2. Существующие аномальные изменения, которые мы называем погодой, происходят главным образом, если не полностью, в колебаниях солнечной радиации".

Если бы циклонические штормы и "погода" были в значительной степени устранены и если бы планетарная система ветров с ее устойчивыми пассатами и юго-западными направлениями стала повсеместно доминирующей, регулярность и объем направленных к полюсу течений, таких как Гольфстрим и Атлантический дрейф в одном океане и Японское течение в другом, значительно увеличились бы. Насколько это важно, можно судить по работам Хелланд-Хансена и Хансена.^[67] Эти авторы обнаружили, что с прохождением каждого циклонического шторма происходит изменение температуры поверхностных вод Атлантического океана. Ветры, дующие под прямым углом к руслу Дрейфа, гонят воду сначала в одном, а затем в другом направлении, но не продвигают ее по течению. Ветры с восточной составляющей, с другой стороны, не только останавливают Дрейф, но и обращают его вспять, сгоняя теплую воду обратно на юго-запад и позволяя холодной воде подниматься вместо нее. Движущей силой атлантического дрейфа является просто превышение ветров с западной составляющей над ветрами с восточной.

Предположим, что цифры на рис. 8 представляют силу ветров в определенной части Северной Атлантики или Северной части Тихого океана, то есть общее количество миль, преодолеваемых по воздуху за год. В квадранте А левой части все ветры дуют в более или менее юго-западном направлении и производят общее перемещение воздуха, составляющее тридцать единиц в год. Те, кто прибывает из пунктов между севером и западом, перемещаются на двадцать пять единиц; те, кто находится между севером и востоком, - на двадцать единиц; и те, кто находится между востоком и югом, - на двадцать пять единиц. Поскольку движение ветров в квадрантах В и D одинаково, эти ветры не оказывают никакого влияния на возникновение течений. Они просто перемещают воду взад и вперед и таким образом дают ей время сбросить то тепло, которое она принесла из более южных широт. С другой стороны, поскольку восточные ветры в квадранте С не полностью сдерживают течения, вызванные западными ветрами в квадранте А, эффективная сила западных ветров составляет десять, или разницу между силой в тридцать в квадранте А и в двадцать в квадранте С. Следовательно, вода перемещается на северо-восток, как показано толстой частью стрелки А.

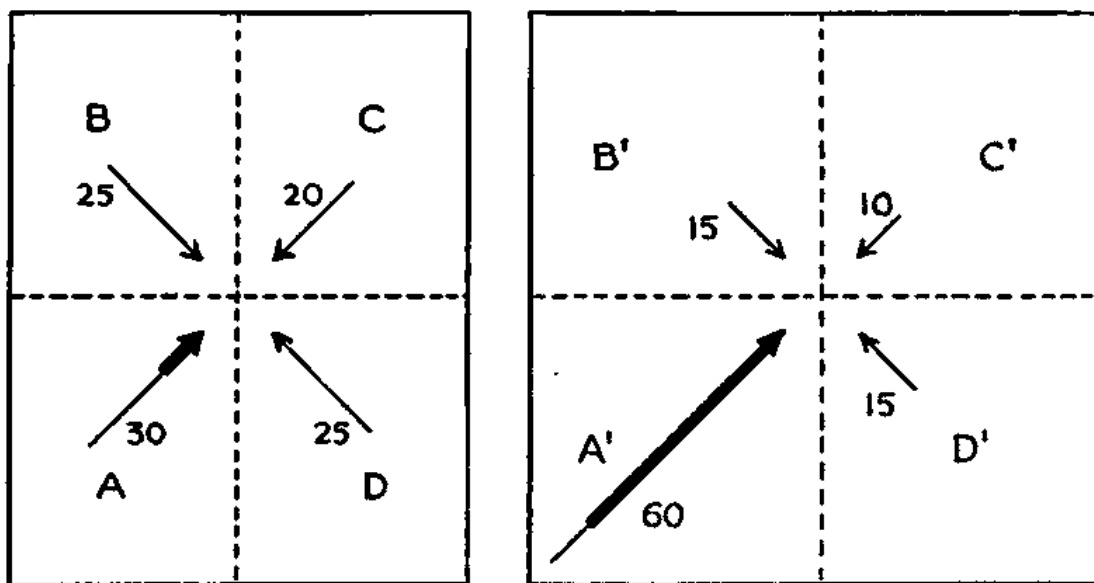


Рис. 8. Влияние уменьшения штормов на движение воды.

Теперь предположим, что число циклонических штормов должно было значительно сократиться, так что в зоне преобладающих западных ветров их было едва ли больше, чем тропических ураганов сейчас в поясе пассатов. Тогда более или менее юго-западные ветры в квадранте А в правой части рис. 8 не только участились бы, но и были бы сильнее, чем в настоящее время. Общее перемещение из этого квартала может возрасти до шестидесяти единиц, как показано на рисунке. В квадрантах В и D перемещение упадет до пятнадцати, а в квадранте С - до десяти. В и D уравнивали бы друг друга, как и раньше. Однако движение в А превышало бы движение в С на пятьдесят вместо десяти. Другими словами, сила, создающая ток, стала бы в пять раз больше, чем сейчас. Фактический эффект был бы еще больше усилен, поскольку ветры с юго-запада были бы сильнее и устойчивее, если бы не было штормов. Сильный ветер, вызывающий появление белых шапок, обладает гораздо большей силой для продвижения воды вперед, чем более слабый ветер, который не вызывает белых шапок. При волне без белой шапки вода возвращается практически к исходной точке после завершения круга под поверхность. Однако при волне с белой шапкой вода движется вперед. Любое увеличение скорости сверх скорости образования белых шапок оказывает большое влияние на количество воды, которая выдувается вперед. Постоянный ветер со скоростью двадцать миль в час переносит вперед в несколько раз больше воды, чем ветер на расстоянии десяти миль.^[68]

В этой связи можно упомянуть предложение, которое подробно изложено в главе XIII. В настоящее время соленость океанов сдерживает общую глубоководную циркуляцию и тем самым увеличивает контрасты от зоны к зоне. Однако в прошлом океан, должно быть, был более пресным, чем сейчас. Следовательно, циркуляция, по-видимому, была менее затруднена, и передача тепла из низких широт в высокие была облегчена.

Рассмотрим теперь величину вероятного эффекта уменьшения количества штормов. Сегодня у берегов Норвегии, на 65°Северной широты и 10° восточной долготы, средняя температура января составляет 2°C. А июля 12°C. Это представляет собой плюсовую аномалию примерно в

22 ° в январе и 2 ° в июле; то есть норвежское побережье теплее нормы для своей широты на эти величины. Предположим, что в какое-то прошлое время преобладало нынешнее распределение земель и морей, но Норвегия была низменностью, где на обширных пойменных равнинах могли скапливаться обширные отложения. Предположим также, что атмосфера солнца была настолько неактивна, что случалось мало циклонических штормов, преобладали устойчивые ветры с запада на юго-запад, а сильные, непрерывные океанские течения приносили из Карибского моря и Мексиканского залива гораздо большие запасы теплой воды, чем в настоящее время. Норвежские зимы тогда были бы теплее, чем сейчас, не только из-за общего повышения температуры, которое земля регулярно испытывает в периоды минимумов солнечных пятен, но и потому, что течения усугубляли бы это состояние. Летом будут преобладать аналогичные условия, за исключением того, что согревающий эффект ветров и течений, предположительно, будет меньше, чем зимой, но это может быть более чем уравновешено повышенным нагревом солнца в течение долгих летних дней, поскольку штормы и облака будут редкими.

Если бы такие условия повышали зимнюю температуру всего на 8 ° С, а летнюю - на 4 ° С, климат был бы таким же теплым, как на северном острове Новой Зеландии (35 °-43 ° южной широты). Флора этой части Новой Зеландии субтропическая и включает не только сосны и буки, но и пальмы и древовидные папоротники. Климат, едва ли более теплый, чем в Новой Зеландии, способствовал бы развитию флоры, подобной той, которая существовала в далеких северных широтах в некоторые из более мягких геологических периодов. Однако, если бы общая температура поверхности земли повысилась на 5 ° из-за редкости штормов, если бы течения были достаточно сильными, чтобы увеличить нынешнюю аномалию на 50%, и если бы более продолжительный солнечный свет летом повысил температуру в это время года примерно на 4 ° С, температура января составила бы 18 ° С, а июля - 22 ° С. Эти цифры, возможно, делают лето и зиму более похожими, чем когда-либо на самом деле в таких широтах. Тем не менее, они показывают, что ослабление штормов и последующее усиление и стабилизация юго-западных направлений могут легко поднять температуру на норвежском побережье настолько высоко, что кораллы смогут процветать за полярным кругом.

Другой фактор будет способствовать созданию умеренных температур в высоких широтах зимой, а именно туманы, которые, предположительно, будут накапливаться. Хорошо известно, что зимой, когда насыщенный воздух из теплого океана обдувает сушу, как это часто бывает на Британских островах и вокруг Северного моря, образуется туман. Эффект такого тумана действительно заключается в закрытии солнечного излучения, но в высоких широтах зимой, когда солнце находится низко, это не имеет большого значения. Другим эффектом является сохранение тепла самой земли. Когда постоянный запас теплой воды доставляется из низких широт, это укрытие тепла туманом приобретает большое значение. В прошлом, когда циклонические штормы были слабыми, а западные ветры соответственно сильными, зимние туманы в высоких широтах, должно быть, были гораздо более распространенными и стойкими, чем сейчас.

Влияние туманов на растительность - еще один интересный момент. Если регион в высоких широтах зимой постоянно защищен туманом, он может поддерживать типы растительности, характерные для довольно низких широт, поскольку растения чаще погибают от сухого холода, чем от влажного. Действительно, чрезмерное испарение из растения, вызванное сухим холодом, когда испарившаяся вода не может быть быстро заменена движением сока, является

главной причиной того, что крупные растения погибают на зиму. Выращивание пересаженных пальм на побережье юго-западной Ирландии, несмотря на ее расположение на 50° северной широты, возможно только из-за сильных туманов зимой из-за морского климата. Туманы препятствуют утечке тепла и предотвращают смертельные морозы. Древовидные папоротники на 46° южной широты в Новой Зеландии, о которых уже говорилось, зимой часто защищены аналогичным образом. Следовательно, относительная частота туманов в высоких широтах, когда штормы минимальны, по-видимому, приводит не только к мягкой зиме, но и к развитию тропической растительности.

Сильные устойчивые пассаты и юго-западные ветры, которые, согласно нашей гипотезе, преобладали бы во времена слабой солнечной активности, оказывали бы выраженное влияние на воду глубоководных морей так же, как и на воду поверхностных. Во-первых, ускорились бы глубоководная циркуляция. Для удобства давайте поговорим о северном полушарии. В прошлом, когда юго-западные ветры были более устойчивыми, чем сейчас, как, вероятно, было в случае, когда циклонические штормы были относительно редкими, большее количество поверхностных вод, чем в настоящее время, предположительно перемещалось из низких широт в высокие. Это, конечно, означает, что больший объем воды должен был течь обратно к экватору в нижних частях океана или же в виде холодного поверхностного течения. Однако устойчивые юго-западные ветры будут мешать южным поверхностным течениям, тем самым вынуждая полярные воды искать свой путь к экватору под поверхностью. В низких широтах полярные воды поднимались бы, и их тенденция заключалась бы в снижении температуры. Следовательно, более устойчивые западные направления способствовали бы уменьшению широтных контрастов в климате не только за счет продвижения большего количества теплой воды к полюсу, но и за счет того, что большее количество полярной воды достигло бы низких широт.

На этом этапе необходимо принять во внимание второе важное соображение. Это не только ускорило бы глубоководную циркуляцию, но и могло бы привести к нагреванию океанских глубин. Глубоководные районы океана сегодня холодные, потому что они получают воду из высоких широт, где она тонет из-за низкой температуры. Предположим, однако, что уменьшение интенсивности штормов в сочетании с другими условиями должно позволить кораллам расти на широте 70° Северной Широты. Тогда средняя температура океана должна была бы быть едва ли ниже 20° С. и даже в самый холодный месяц температура воды едва ли опускалась бы ниже 15° С. При таких условиях, если бы полярный океан был свободно соединен с остальными океанами, ни одна его часть, вероятно, не имела бы температуры намного ниже 10° С, поскольку не было бы таких вещей, как ледяные шапки и снежные поля, отражающие скудный солнечный свет и излучающие в космос то небольшое количество тепла, которое там было. Напротив, в течение зимы будет преобладать почти постоянное состояние густого тумана. Эффект этого покрытия был бы настолько велик, что минимальная месячная температура составила бы 10° С. ибо самая холодная часть океана, возможно, находится слишком низко для того времени, когда кораллы процветали на 70° широты.

Температура океанских глубин не может постоянно оставаться ниже, чем в самых холодных частях поверхности. Временно это действительно может произойти, когда солнечное изменение сначала уменьшит штормовую силу и усилит западные направления и поверхностные течения. Однако постепенно постоянная глубоководная циркуляция поднимала бы более холодную воду в низких широтах и унесла бы вниз воду средней температуры в самой

холодной части поверхности. Таким образом, со временем все тело океана стало бы теплым. Тепло, которое в настоящее время уносится с поверхности Земли штормами, медленно накапливалось бы в океанах. По мере продолжения процесса все участки поверхности океана будут становиться теплее, поскольку экваториальные широты будут все меньше и меньше охлаждаться холодной водой снизу, в то время как вода, переносимая ветром из низких широт в высокие, будет соответственно теплее. Потепление океана прекратится только с достижением состояния равновесия, при котором потери тепла за счет излучения и испарения с поверхности океана сравняются с потерями, которые при других обстоятельствах возникли бы в результате подъема теплого воздуха во время циклонических штормов. Когда океаны однажды прогреются, они сформируют чрезвычайно сильную консервативную силу, стремящуюся сохранить ровный климат на всех широтах и в любое время года. Согласно солнечно-циклонической гипотезе, такие условия должны были преобладать на протяжении большей части геологического времени. Только после сильного и продолжительного солнечного возмущения с последующей за ним штормовостью можно было ожидать условий, подобных сегодняшним.

В этой связи можно упомянуть еще одну возможность. Обычно предполагается, что ось земли устойчиво удерживается в одном направлении благодаря тому факту, что вращающаяся земля представляет собой большой гироскоп. Предполагается, что ось была наклонена в определенное положение, возможно, под действием какой-то посторонней силы, и должна сохранять это положение до тех пор, пока не вмешается какая-то другая сила. Кордейро,^[69] однако, утверждает, что это верно только для абсолютно жесткого гироскопа. Он считает математически доказуемым, что если упругий гироскоп постепенно наклонять под действием какой-либо посторонней силы, и если эта сила затем перестанет действовать, гироскоп в целом будет колебаться взад-вперед. Земля кажется слегка упругой. Поэтому Кордейру применяет к нему свои формулы, исходя из следующих предположений: (1) что первоначальное положение оси было почти вертикальным по отношению к плоскости эклиптики, в которой земля вращается вокруг солнца; (2) что в определенные моменты времени наклон был даже больше, чем сейчас; и (3) что положение оси относительно земли не изменилось в какой-либо значительной степени, то есть полюса земли оставались практически неподвижными по отношению к земле, хотя вся земля неоднократно подвергалась гироскопическим наклонам взад и вперед.

При вертикальной оси дневной свет и темнота во всех частях земли были бы одинаковой продолжительности, всегда равной двенадцати часам. Не было бы сезонов, и климат приблизился бы к среднему состоянию, которое сейчас наблюдается в дни двух равноденствий. В целом климат высоких широт производил бы впечатление более мягкого, чем сейчас, поскольку там было бы меньше возможностей для накопления снега и льда с их сильным охлаждающим эффектом. С другой стороны, если бы ось была наклонена больше, чем сейчас, зимние ночи были бы длиннее, а зимы более суровыми, чем в настоящее время, и наблюдалась бы тенденция к оледенению. Таким образом, Кордейру объясняет чередование умеренных и ледниковых эпох. Полный переход от вертикального положения к максимальному наклону и обратно к вертикали может длиться миллионы лет в зависимости от степени упругости земли. Выход из вертикального положения в другом направлении был бы столь же продолжительным. Поскольку в настоящее время предполагается, что ось намного ближе к своей максимальной, чем к минимальной степени наклона, продолжительность эпох с более суровым климатом, чем нынешний, была бы относительно короткой, в то время как мягкие эпохи были бы долгими.

Гипотеза Кордейру была почти полностью проигнорирована. Одна из причин заключается в том, что его трактовка геологических фактов, и особенно его метод пренебрежения общепринятыми выводами, не вызвали одобрения его работы среди геологов. Поэтому они не сочли нужным призывать математиков проверять предположения и методы, с помощью которых он достиг своих результатов. Возможно, несправедливо проверять Кордейро с точки зрения геологии, поскольку он не претендует на звание геолога. В математике он работает в невыгодных условиях, поскольку работал вне обычных профессиональных каналов, так что его работа, по-видимому, не подвергалась достаточно критическому анализу.

Не высказывая никакого мнения относительно ценности результатов Кордейру, мы считаем, что тема гироскопического движения Земли и возможного векового изменения направления оси заслуживает изучения по двум основным причинам. Во-первых, свидетельства сезонных изменений и сезонного единообразия, по-видимому, более или менее попеременно встречаются в геологической летописи. Во-вторых, замечательные открытия Гарнера и Алларда^[70] показывают, что продолжительность светового дня оказывает выраженное влияние на размножение растений. Мы неоднократно упоминали древовидные папоротники, кораллы и другие формы жизни, которые сейчас обитают в относительно низких широтах и которые не выносят сильных сезонных контрастов, но которые когда-то обитали далеко на севере. С другой стороны, Сэйлз,^[71] например, обнаруживает, что микроскопическое исследование полосчатости древних сланцев указывает на отчетливую сезонную полосчатость, подобную полосчатости современных плейстоценовых глин или сквантового сланца, образовавшегося во время пермского ледникового периода или около него. Такая сезонная полосчатость обнаружена в породах разного возраста: (а) гуронский, в кобальтовых сланцах, о которых ранее сообщал Коулман; (б) позднепротерозойский или раннекембрийский, в сланцах Хивасси; (в) нижний кембрий, в сланцах Джорджиан в Вермонте; (г) нижний ордовик в Джорджии (сланцы Рокмарт), Теннесси (афинские сланцы), Вермонте (сланцы) и Квебеке (формация Бикмантаун); и (д) пермский период в Массачусетсе (сланцы Сквантум). Насколько периоды, в течение которых регистрировались такие свидетельства смены времен года, действительно чередовались с мягкими периодами, когда тропические виды обитали в высоких широтах и контраст времен года почти или полностью отсутствовал, у нас пока нет возможности узнать. Если бы было обнаружено, что периоды, характеризующиеся заметными сезонными изменениями, чередовались с периодами, когда времена года не имели большого значения, этот факт имел бы большое геологическое значение.

Открытия Гарнера и Алларда относительно влияния света на размножение начались со своеобразного растения табака, появившегося в ходе некоторых экспериментов в Вашингтоне. Растение выросло до необычных размеров и, казалось, обещало создать ценный новый сорт. Однако до наступления холодов оно не дало семян. Поэтому его перенесли в теплицу, где оно зацвело и дало семена. В последующие годы цветение также откладывалось до начала зимы, но в конце концов было обнаружено, что если маленькие растения сажать в теплицу ранней осенью, то они зацветают одновременно с крупными. Эксперименты вскоре показали, что время цветения в значительной степени зависит от продолжительности суточного периода, когда растения находятся на свету. То же самое верно и для многих других растений, и условия, приводящие к цветению, очень разнообразны. Некоторые растения, такие как гамамелис, по-видимому, стимулируются к цветению очень короткими днями, в то время как другим, таким как примула вечерняя, по-видимому, требуются относительно долгие дни. Растения настолько чувствительны в этом отношении, что Гарнер и Аллард, изменяя продолжительность светового

периода, заставили цветочную почку на ранних стадиях не только прекратить развитие, но и снова вернуться к вегетативному побегу.

Ирис обыкновенный, цветущий в мае-июне, не зацветет в обычных условиях при выращивании в теплице зимой, даже при тех же температурных условиях, которые преобладают в начале лета. Опять же, один сорт соевых бобов будет регулярно зацветать в июне каждого года, второй сорт - в июле, а третий - в августе, когда все они будут посажены в один и тот же день. В летние месяцы нет перепадов температур, которые могли бы объяснить эти различия во времени цветения; и, поскольку одни только "внутренние причины" не могут быть приняты в качестве удовлетворительного объяснения, должен быть ответственен какой-то внешний фактор, отличный от температуры.

Обычные сорта *cosmos* регулярно цветут осенью в северных широтах, если их сажать весной или летом. При выращивании в теплой теплице в зимние месяцы растения также легко зацветают, так что более прохладная погода осенью не является обязательным условием. Если производить последовательные посадки *cosmos* в теплице в конце зимы и начале весны при поддержании равномерной температуры на протяжении всего периода, посадки, сделанные после определенной даты, не зацветут быстро, а, наоборот, будут продолжать расти до следующей осени, таким образом, цветя в обычное для этого вида время года. Это любопытное изменение поведения с приближением сезона нельзя объяснить изменением температуры. Какой-то другой фактор ответственен за то, что *cosmos* не цветет в летние месяцы. В этом отношении поведение *cosmos* прямо противоположно тому, что наблюдается в *iris*.

Некоторые сорта соевых бобов особым образом меняют свое поведение с приближением летнего сезона. Например, сорт, известный как Билокси, посаженный ранней весной на широте Вашингтона, округ Колумбия, продолжает расти в течение всего лета, зацветая в сентябре. Растения сохраняют рост без цветения в течение пятнадцати-восемнадцати недель, достигая высоты пяти футов и более. Однако по мере того, как сроки последовательных посадок сдвигаются на июнь и июль, у растений наблюдается заметная тенденция сокращать период роста, предшествующий цветению. Это, конечно, означает, что существует тенденция цвести примерно в одно и то же время года, независимо от даты посадки. Как необходимое следствие, размер растений во время цветения уменьшается пропорционально задержке с посадкой.

Отношение этого к геологическим проблемам заключается в возникающем вопросе о способности рода или семейства растений приспосабливаться к продолжительности дня, сильно отличающейся от той, к которой они привыкли. Могут ли древовидные папоротники, гинкго, саговники и другие растения, в обычном ареале которых дневной свет никогда не длится более четырнадцати часов или менее десяти, процветать и размножаться, если их подвергать воздействию периодов дневного света, варьирующихся от нуля до примерно двадцати четырех часов? Ответить на этот вопрос пока невозможно, но этот вопрос открывает самые интересные возможности для исследования. Если Кордейру прав относительно упругого гироскопического движения земли, то, возможно, были определенные периоды, когда вертикальная или почти вертикальная ось позволяла дням быть почти одинаковой продолжительности в любое время года на всех широтах. Если бы такое отсутствие сезонов имело место, когда суша была низкой, когда океаны были обширными и широко открытыми по направлению к полюсам, и когда штормы были относительно неактивными, результатом могло бы стать значительное смягчение

климата, которое, как иногда кажется, преобладало в середине геологических эпох. Предположим, с другой стороны, что ось должна быть наклонена больше, чем сейчас, и что земли должны широко зарождаться, а штормовой пояс должен быть очень активен в низких широтах, возможно, из-за активности солнца. Условия могут быть благоприятными для оледенения на таких низких широтах, как те, где, по-видимому, сосредоточились ледяные щиты пермо-каменноугольного периода. Возможности, которые, таким образом, предлагает гипотеза Кордейру, настолько интересны, что гироскопическое движение земли должно быть исследовано более тщательно. Однако, даже если такого гироскопического движения не происходит, других причин мягкого климата, обсуждаемых в этой главе, может быть достаточно, чтобы объяснить все наблюдаемые явления.

Из этого исследования мягкого геологического климата можно было бы сделать много важных биологических выводов, но в этой книге им не место. В первой главе мы видели, что одной из самых замечательных особенностей климата Земли является его поразительная однородность на протяжении сотен миллионов лет. По мере того, как мы проходим через череду лет, мягкие геологические периоды, по-видимому, представляют собой возвращение, насколько это возможно, к этому стандартному состоянию однородности. Определенные изменения на самой земле, как мы увидим в следующей главе, могут в долгосрочной перспективе иметь тенденцию к незначительному изменению точных условий этого климатического стандарта, как мы, возможно, могли бы это назвать. Однако они действуют настолько медленно, что их влияние на протяжении сотен миллионов лет все еще остается под вопросом. В лучшем случае они, по-видимому, просто вызвали небольшое увеличение разнообразия от сезона к сезону и от зоны к зоне. Нормальный климат, по-видимому, все еще более мягкий, чем тот, который преобладает в настоящее время. Некоторые солнечные условия, возможная природа которых будет обсуждена позже, по-видимому, уже сейчас приводят к тому, что количество циклонических штормов превышает норму. Следовательно, климат Земли все еще демонстрирует что-то от огромного разнообразия времен года и зон, которое является столь заметной характеристикой ледниковых эпох.

ГЛАВА XI

ЗЕМНЫЕ ПРИЧИНЫ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Большая часть этой книги посвящена объяснению наиболее резких и экстремальных изменений климата. В этой и следующей главах рассматриваются два других вида климатических изменений: незначительное вековое прогрессирование на протяжении сотен миллионов лет зарегистрированной истории Земли и особенно длительные медленные геологические колебания, длящиеся миллионы или десятки миллионов лет. Геологи в целом согласны с тем, что прогрессирующее изменение имело тенденцию к большим экстремальным явлениям климата, то есть к большим сезонным контрастам и к большим контрастам от места к месту и от зоны к зоне.^[72] Медленными циклическими изменениями были те, которые, с одной стороны, способствовали широкому оледенению ближе к концам геологических периодов и эр, а с другой - умеренным температурам даже в приполярных регионах в средние периоды.

Как указывалось в предыдущей главе, часто предполагалось, что все климатические изменения вызваны земными причинами. Однако мы видели, что существуют убедительные

доказательства того, что колебания солнечной активности играют большую роль в изменении климата Земли. Мы также видели, что ни одно известное земное агентство, по-видимому, не способно вызвать резкие изменения, отмеченные в последние годы, более длительные исторические циклы или геологические изменения более короткого типа, такие как оледенение. Тем не менее, земные изменения, несомненно, способствовали возникновению как прогрессивных, так и медленных циклических изменений, зафиксированных в горных породах, и цель этой главы и двух последующих - рассмотреть, какие земные изменения произошли, и вероятный эффект таких изменений.

Земные изменения, имеющие климатическое значение, многочисленны. Некоторые из них, такие как изменения количества вулканической пыли в верхних слоях воздуха, были рассмотрены в предыдущей главе. Другие слишком недостаточно известны, чтобы требовать обсуждения, и, кроме того, предположительно, есть другие, которые совершенно неизвестны. Несомненно, некоторые из этих малоизвестных или неизвестных изменений сыграли важную роль в изменении климата. Например, климатическое влияние растительности, животных и человека может быть заметным. Здесь, однако, мы ограничимся чисто физическими причинами, которые будут рассматриваться в следующем порядке: во-первых, те, которые связаны с твердыми частями земли, а именно: (I) количество суши; (II) распределение суши; (III) высота суши; (IV) потоки лавы; и (V) внутреннее тепло. Во-вторых, те, которые возникают из-за солености океанов, и, в-третьих, те, которые зависят от состава и количества атмосферы.

Изменение земной поверхности, которое, по-видимому, косвенно вызвало наибольшее изменение климата, - это сжатие Земли. Проблема сжатия чрезвычайно сложна и пока изучена лишь частично. Поскольку на климат влияют только его результаты, а не процессы, следующий раздел вплоть до страницы 196 обычному читателю не нужен. Это вставлено для того, чтобы объяснить, почему мы предполагаем, что имели место колебания между определенными типами распределения земель.

О степени сжатия земли можно судить по сокращению, на которое указывает укорочение скальных образований в складчатых горах, таких как Альпы, Юра, Аппалачи и Кавказ. Геологи постоянно обнаруживают новые свидетельства надвигающихся разломов огромной величины, когда массивы горных пород полностью надвигаются на другие породы, иногда на многие мили. Следовательно, оценки величины усадки, основанные на измерениях складок и разломов, нуждаются в постоянном пересмотре в сторону увеличения. Тем не менее, они уже достигли значительной цифры. Например, в 1919 году профессор А. Хейм оценил укорочение меридиана, проходящего через современные Альпы и древние Герцинские и Каледонские горы, как полную тысячу миль в Европе и более пятисот миль на остальной части этого меридиана.^[73] Это радиальное сокращение примерно на 250 миль. Возможно, усадка была еще больше. Чемберлин^[74] сравнил плотность земли, Луны, Марса и Венеры друг с другом и нашел вероятным, что радиальное сжатие земли может достигать 570 миль. Этот результат не так сильно отличается от результата Хейма, как кажется на первый взгляд, поскольку Хейм не учел нераспознанные дефекты надвига и сжатия, связанное с метаморфизмом. Более того, Heim не включал усадку в течение первой половины геологического периода до того, как были подняты вышеупомянутые горные системы.

Согласно хорошо известному закону физики, сжатие вращающегося тела приводит к более быстрому вращению и большей центробежной силе. Эти условия должны увеличить

экваториальную выпуклость земли и тем самым вызвать изменения в распределении суши и воды. В противоположность перестройке суши из-за увеличения вращения, вызванной сжатием, предположительно произошла другая перестройка из-за замедления вращения Земли приливами и, как следствие, уменьшения экваториальной выпуклости. Г. Х. Дарвин давным-давно вывел относительно большое замедление из-за лунных приливов. Несколько лет назад У. Д. Макмиллан, исходя из других предположений, вывел лишь незначительную задержку. Еще совсем недавно Тейлор^[75] изучал приливы Ирландского моря, и его работа привела Джеффриса^[76] и Брауна^[77] к выводу, что произошло значительное замедление, возможно, достаточное, по словам Брауна, чтобы сравняться с ускорением, вызванным сжатием Земли. На основе длительного и исчерпывающего изучения движения Луны Браун приходит к выводу, что приливное трение или какая-то другая причина в настоящее время удлиняют сутки со скоростью одна секунда в тысячу лет, или на час почти за четыре миллиона лет, если сохранятся нынешние темпы. Он ясно дает понять, что замедление, вызванное приливами, не соответствовало бы по времени ускорению, вызванному сжатием. Замедление происходило бы медленно и имело бы место главным образом в течение длительных спокойных периодов геологической истории, в то время как ускорение происходило бы быстро во времена диастрофической деформации. Как следствие, экваториальная выпуклость попеременно уменьшалась бы с медленной скоростью, а затем несколько внезапно увеличивалась.

Чем менее твердая какая-либо часть земли, тем быстрее она реагирует на силы, которые приводят к выпуклости или стремятся уменьшить выпуклость. Поскольку вода более текуча, чем суша, сжатие земли и замедление приливов, по-видимому, имеют тенденцию попеременно увеличивать и уменьшать количество воды вблизи экватора больше, чем количество суши. Таким образом, на протяжении всей геологической истории мы должны искать циклические изменения относительной площади земель в пределах тропиков и аналогичные изменения противоположной фазы в более высоких широтах. Степень изменения будет зависеть от (а) величины изменения скорости вращения и (б) протяженности низменности в низких широтах и мелководья моря в высоких широтах. Согласно таблицам Сличтера, если бы земля вращалась за двадцать три часа вместо двадцати четырех, великая Амазонская низменность была бы затоплена притоком океанической воды, в то время как обширные территории в Гудзоновом заливе, Северном море и других северных регионах стали бы сушей, потому что океанская вода утекла бы из них.^[78]

Вслед за быстрым перемещением воды к экватору, которое происходило бы по мере увеличения скорости вращения, также должно происходить постепенное перемещение или сползание твердых пород к экватору, то есть выпуклость дна океана и земель в низких широтах с последующим появлением там земель и относительным повышением уровня моря в более высоких широтах. Замедление приливов и отливов имело бы аналогичный эффект. Зюсс^[79] описал широко распространенные приподнятые береговые линии в тропиках, которые он интерпретирует как указывающие на относительно внезапное изменение уровня моря, хотя и не указывает причину этого изменения. Однако, говоря о недавних геологических временах, Зюсс сообщает, что движение, более недавнее, чем старые жилы, "было накоплением воды к экватору, уменьшением к полюсам, и (кажется), что это последнее движение было лишь одним из многих колебаний, которые следуют друг за другом с одинаковой тенденцией, то есть с положительным избытком на экваторе, с отрицательным избытком на полюсах". (Том II, стр. 551.) Это смещение горных пород к экватору, по-видимому, могло бы способствовать росту гор в тропических и субтропических регионах, потому что крайне маловероятно, что увеличение

выпуклости продолжалось бы на всех долготах с идеальной равномерностью. Там, где это происходило наиболее быстро, возникали горы. О том, что такая неравномерность движения действительно имела место, свидетельствует не только тот факт, что многие кайнозойские и более древние горные цепи простираются на восток и запад, но и тот дополнительный факт, что они включают в себя некоторые из наших величайших хребтов, многие из которых находятся в довольно низких широтах. Примерами могут служить Гималаи, Яванские хребты и наполовину затопленные Карибские цепи. Такие горы предполагают толчок в северном и южном направлениях, что как раз и произошло бы, если бы твердая масса земли ползла сначала к экватору, а затем к полюсу.

Фактом, который согласуется с идеей периодического увеличения уровня океанов в низких широтах из-за возобновления вздутия на экваторе, является обнажение в умеренно высоких широтах наибольшего объема древних горных пород. По-видимому, это означает, что в низких широтах частое углубление уровня океанов привело к тому, что старые породы были в значительной степени покрыты отложениями, в то время как старые земли в более высоких широтах оказались в большей степени подвержены эрозии.

Еще одно предположение о таких периодических перемещениях океанской воды в направлении экватора содержится в сообщениях о контрасте между относительной стабильностью, с которой северная часть Северной Америки оставалась немного выше уровня моря, за исключением периодов повсеместного затопления, в то время как южные части подвергались неоднократным затоплениям, чередующимся с сильным всплыванием.^[80] Более того, хотя северная часть Северной Америки в целом подвергалась эрозии со времен протерозоя, она принесла гораздо меньше осадков, чем более южные районы суши.^[81] Это, по-видимому, означает, что большая часть Канады стояла на относительно низком уровне, в то время как в субтропических широтах происходили повторяющиеся и глубокие подъемы, чередующиеся с депрессиями, очевидно, в связи с изменениями скорости вращения Земли. Подъемы обычно следовали за периодами затопления из-за движения воды к экватору, хотя изгиб земной коры, сопровождающий усадку, несомненно, частично вызвал затопление. Доказательства того, что северная часть Северной Америки находилась на относительно низком уровне на протяжении большей части геологического времени, зависят не только от того факта, что на юг с севера поступало мало осадков, но и от того факта, что во времена особенно широкого распространения эпиконтинентальных морей затопление начиналось с севера.^[82] Это особенно верно для ордовика, силура, девона и юрского периода в Северной Америке. Предполагается, что общее затопление такого рода происходит главным образом из-за разлива океана, когда его уровень медленно повышается за счет отложения наносов, образовавшихся в результате эрозии того, что когда-то было континентальным нагорьем, но позже стало пенеппенами. Однако тот факт, что такое затопление началось в высоких широтах, по-видимому, нуждается в дополнительном объяснении. Выпуклость каменной сферы на экваторе и последующее вытеснение части воды в низких широтах могли бы дать такое объяснение, как и снижение скорости вращения, вызванное замедлением приливов, если бы это замедление было достаточно большим и быстрым, чтобы быть геологически эффективным.

Климатические последствия сжатия Земли, которые мы вскоре обсудим, сильно осложняются тем фактом, что сжатие происходило нерегулярно. Такая неравномерность имела место,

несмотря на то, что процессы, вызывающие сжатие, вероятно, происходили довольно стабильно на протяжении всей геологической истории. Эти процессы включают химическую реорганизацию минералов земной коры, процесс, который иллюстрируется метаморфизмом осадочных пород в кристаллические формы. Другим важным процессом был выброс газов в результате вулканической деятельности или иным образом.

Хотя процессы, вызывающие сжатие, вероятно, продолжают стабильно, их эффект, как указывали Чемберлин^[83] и другие, вероятно, задерживается по инерции. Таким образом, задерживается оседание земной коры или ее движение в больших масштабах. Возможно, задержка продолжается до тех пор, пока напряжения не станут настолько большими, что сами по себе преодолеют инерцию, или, возможно, какое-то внешнее воздействие, природу которого мы рассмотрим позже, вновь усиливает напряжения и дает небольшой импульс, которого достаточно, чтобы ослабить их и позволить земной коре прийти в новое состояние равновесия. Когда сокращение продолжается активно, сегменты океана, будучи самыми крупными и тяжелыми, вероятно, больше всего оседают, что приведет к углублению океанов и появлению суши. После каждого значительного сжатия скорость вращения увеличивалась бы. Повторяющиеся сокращения с последующим ростом экваториальной выпуклости чередовались бы с длительными периодами затишья, в течение которых задержка прилива снова снижала бы скорость вращения и, следовательно, уменьшала бы выпуклость. Результатом были бы повторяющиеся изменения в распределении суши и воды с последующими изменениями климата.

I. Теперь мы рассмотрим климатический эффект повторяющихся изменений относительных объемов суши и воды, которые, по-видимому, являются результатом сжатия Земли и изменений ее скорости вращения. В течение многих геологических эпох большая часть земли была покрыта водой, чем в настоящее время. Например, по крайней мере, в течение двенадцати из примерно двадцати эпох Северная Америка подвергалась обширным затоплениям,^[84] и в целом обширное затопление Европы, другой области, хорошо известной в геологическом отношении, совпало с затоплением Северной Америки. В другие времена океан был менее обширен, чем сейчас, как, например, в недавний ледниковый период и, вероятно, в течение нескольких более ранних ледниковых периодов. Каждое из многочисленных изменений относительной протяженности земель должно было приводить к изменению климата.^[85] Эта модификация произошла бы главным образом потому, что вода нагревается гораздо медленнее, чем суша, и остывает гораздо медленнее.

Увеличение площади земель привело бы к изменению ряда климатических условий. а) диапазон температур между днем и ночью, а также между летом и зимой увеличится, поскольку днем и летом на суше становится теплее, чем в океанах, и прохладнее ночью и зимой. Более высокая летняя температура, когда земли широко распространены, объясняется главным образом тем фактом, что суша, если она не покрыта снегом, поглощает больше солнечной энергии, чем океан, поскольку ее отражающая способность невелика. Более низкая зимняя температура, когда земли широко распространены, происходит не только потому, что они быстро остывают, но и потому, что уменьшившиеся в объеме океаны не могут отдавать им столько тепла. Более того, чем больше суша, тем чаще ветры дуют с нее в сторону зимой и,

таким образом, препятствуют переносу океанского тепла вглубь страны. Пока океан не замерз в высоких широтах, он обычно является главным источником тепла зимой, поскольку ночи у полюсов длятся по нескольку месяцев, и даже когда солнце светит под таким низким углом, что отражение от снега очень велико. Более того, хотя в среднем отражение от воды больше, чем от суши, зимой в высоких широтах верно обратное, когда суша покрыта снегом, а океан относительно темный и шероховатый от волн. Еще одним фактором, приводящим к тому, что на больших территориях зимой наблюдается чрезвычайно низкая температура, является тот факт, что пропорционально своим размерам они менее защищены от тумана и облачности, чем меньшие территории. Пояс облаков и тумана, который обычно образуется, когда ветер дует с океана на относительно холодную сушу, ограничен прибрежной зоной. Таким образом, чем больше территория, тем меньше доля, в которой потери тепла за счет излучения уменьшаются за счет облаков и туманов. Следовательно, увеличение площади суши сопровождается увеличением температурных контрастов между сушей и водой.

(b) создаваемые таким образом контрасты в температуре должны вызывать аналогичные контрасты в атмосферном давлении и, следовательно, более сильные барометрические градиенты. (c) сильные уклоны означали бы сильные ветры, дующие с суши на море или с моря на сушу. (d) местная конвекция также будет усилена в соответствии с расширением земель, поскольку более быстрый нагрев суши, чем воды, способствует активной конвекции.

(e) По мере уменьшения площади океана обычно происходит уменьшение количества водяного пара по трем причинам: (1) Испарение из океана является основным источником водяного пара. При прочих равных условиях, чем меньше становится океан, тем меньше испарение. (2) Количество водяного пара в воздухе уменьшается по мере усиления конвекции, поскольку восходящая конвекция является основным методом, с помощью которого образуются конденсат и осадки, а водяной пар удаляется из атмосферы. (3) Ночное похолодание, достаточное для образования росы и инея, гораздо чаще встречается на суше, чем в океане. Образование росы и инея уменьшает количество водяного пара, по крайней мере временно. (f) любое уменьшение количества водяного пара, образующегося этими или иными способами, является значительным, поскольку водяной пар является наиболее важной частью атмосферы с точки зрения регулирования температуры. Из-за этого дни не становятся жаркими, а ночи - холодными. Следовательно, любое уменьшение содержания водяного пара приведет к увеличению суточного и сезонного диапазона температур, что сделает климат более экстремальным и суровым. Таким образом, периодическое увеличение площади континентов, очевидно, привело бы к периодическому усилению климатических контрастов с большими экстремумами - типу климатических изменений, который повторялся снова и снова. Действительно, каждое великое оледенение сопровождало или следовало за обширным освоением земель.^[86]

Неизвестно, происходило ли *прогрессивное* увеличение площади земель от эпохи к эпохе. Авторитетные ученые расходятся во мнениях. Однако нет сомнений в том, что в настоящее время земли более обширны, чем в большинстве случаев в прошлом, хотя, возможно, и меньше, чем в определенные периоды. Обширные просторы помогают объяснить важность сезонов в настоящее время по сравнению с прошлым.

II. Сжатие земли, как мы видели, привело к большим изменениям в распределении, а также в протяженности суши и воды. Большие части нынешних континентов неоднократно покрывались морем, и обширные территории, ныне покрытые водой, были сушей. В недавние геологические времена, то есть в плиоцен и плейстоцен, большая часть нынешнего континентального шельфа, зона менее чем на 600 футов ниже уровня моря, была сушей. Если бы обнажился весь шельф, земли были бы больше, чем в настоящее время, на площадь, превышающую Северную Америку. Когда земли были наиболее возвышенными, или немного раньше, Северная Америка, вероятно, была связана с Азией и почти с Европой. Азия, в свою очередь, по-видимому, была связана с более крупными островами Восточной Индии. В гораздо более ранние времена суша занимала регионы, где сейчас океан довольно глубокий. Группы островов, такие как Ост-Индия и Малайзия и, возможно, Вест-Индия, были объединены в обширные массивы суши. Рис. 7 и 9, иллюстрирующие палеографию пермского и мелового периодов соответственно, указывают на распределение суши, радикально отличное от современного.

Насколько следует из разрозненных фактов геологической истории, изменения в распределении суши, по-видимому, были отмечены следующими характеристиками: (1) сопровождая дифференциацию континентального и океанического сегментов земной коры, океаны стали несколько глубже, а их бассейны, возможно, больше, в то время как континенты в среднем были более возвышенными и менее подвержены затоплению. Следовательно, в относительно недавнюю кайнозойскую эру наблюдались менее радикальные отклонения от нынешнего распределения, чем в древний палеозой, поскольку затопление континентальных районов стало менее общим и менее частым. Например, последнее обширное эпейрическое или внутреннее море в Северной Америке было в меловом периоде, по крайней мере, десять миллионов лет назад, а по словам Баррелла, возможно, пятьдесят миллионов, в то время как в Европе, по словам де Лаппарента,^[87] с мелового периода затоплена меньшая часть нынешнего континента, чем раньше. Действительно, как и в Северной Америке, уровень затопления уменьшился в среднем с палеозойской эры. (2) Изменения в распределении суши, происходившие на протяжении истории Земли, были циклическими. Неоднократно, в конце каждого из примерно десятка геологических периодов, континенты возникали в большей или меньшей степени, в то время как в конце групп периодов, известных как эры, земли были особенно большими и возникающими. После каждого появления происходило постепенное наступление моря, и к концу нескольких более ранних периодов море, по-видимому, покрывало значительную часть нынешних территорий суши. (3) В целом, площадь суши в средних и высоких широтах северного полушария, по-видимому, увеличилась за геологическое время. Однако такое увеличение не требует роста континентов в более широком смысле этого термина, а просто затопления меньшей части континента и его шельфа. (4) С другой стороны, в тропических широтах протяженность суши, по-видимому, уменьшилась, очевидно, из-за роста океанических бассейнов. Многие студенты считают, что Южная Америка и Африка были связаны, а Африка была объединена с Индией через Мадагаскар, как показано на рис. 9. Наиболее радикальные циклические, а также наиболее радикальные прогрессивные изменения в распределении земель, по-видимому, также произошли в тропических регионах.^[88]

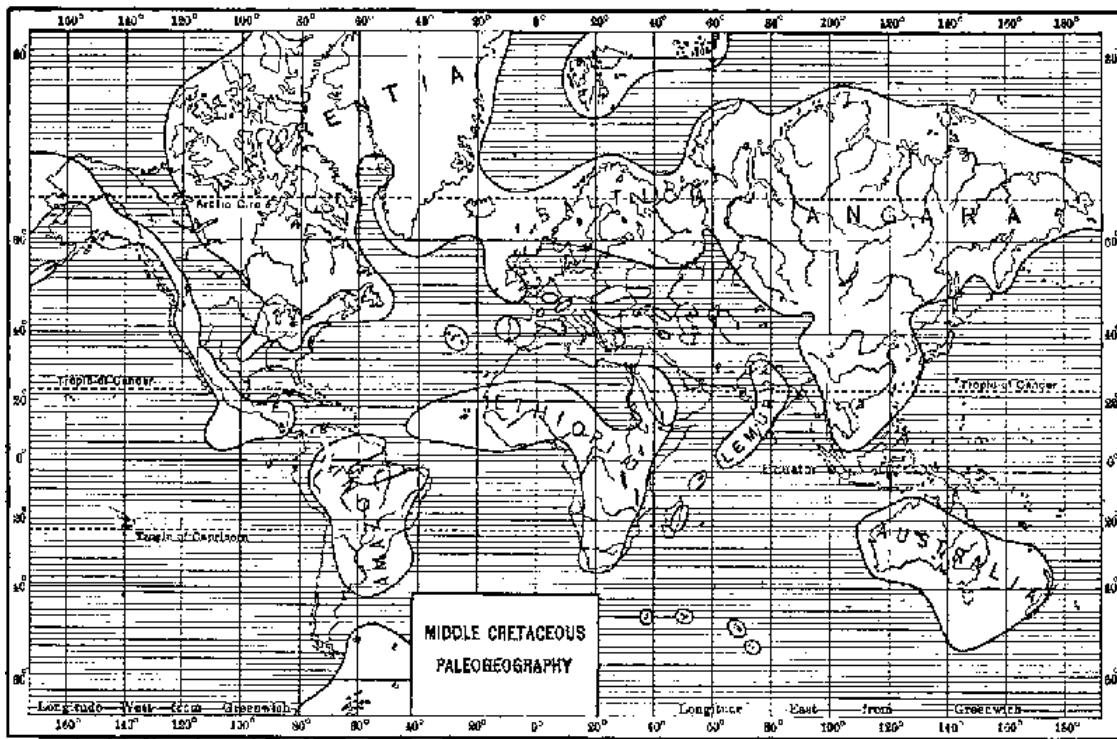


Рис. 9. Палеогеография мелового периода.
(В честь Шухерта.)

Хотя существует множество свидетельств периодического увеличения уровня моря в экваториальных широтах и суши в высоких, зоологу Меткалфу оставалось представить весьма убедительные доказательства того, что в определенные периоды погружение вдоль экватора совпадало с появлением в высоких широтах, и наоборот. Некоторые пресноводные лягушки, которые являются переносчиками одного и того же внутреннего паразита, обитают в двух широко разделенных районах в тропической и южно-умеренной Америке и в Австралии. Крайняя невероятность того, что и лягушки, и паразиты могли возникнуть независимо в двух несвязанных областях и могли развиваться в результате конвергентной эволюции так, что они почти идентичны на двух континентах, делает почти несомненным, что между Южной Америкой и Австралией должно было существовать сухопутное сообщение, предположительно через Антарктиду. Факты, касающиеся паразитов, по-видимому, также доказывают, что, пока существовала сухопутная связь, через Южную Америку в экваториальных широтах проходило море. Паразит поражает не только лягушек, но и американских жаб, известных как Буфо. В настоящее время *Bufo* возникла к северу от экватора в Америке и отличается от лягушек, которые возникли на юге Южной Америки, тем, что их не водят в Австралии. В связи с этим возникает вопрос о том, как лягушки могли попасть в Австралию через Антарктиду, неся с собой паразита, в то время как жабы не могли этого сделать. Ответ Меткалфа заключается в том, что жабы были отрезаны от южной части Южной Америки экваториальным морем до тех пор, пока не была разорвана антарктическая связь между Старым Светом и Новым.

Поскольку Патагония отпустила Антарктиду из-за оседания промежуточной территории суши, вероятно, произошел сопутствующий подъем суши на территории нынешней средней части Южной Америки, и северная и южная части этого континента объединились.^[89]

Эти различные изменения в земной коре привели к возникновению определенных типов распределения земель, которые сейчас будут рассмотрены. Мы выясним, какие климатические условия возникнут в результате изменений (а) протяженности земель с севера на юг, (б) площади суши в тропических широтах и (в) площади суши в средних и высоких широтах.

(а) В настоящее время дрейф теплых вод на запад, приводимый в движение пассатами, прерывается массивами суши и поворачивается к полюсу, вызывая важный дрейф гольфстрима и Японского течения в северном полушарии и соответствующие, хотя и менее важные, течения в южном полушарии. В прошлом, несомненно, существовали совершенно разные группы океанских течений в ответ на различное распределение суши. Неоднократно, в середине мелового периода (рис. 9) и в несколько других периодов, нынешний американский барьер на пути движущегося на запад тропического течения прорывался в Центральной Америке. Даже если предполагаемый континент "Земля Гондвана" простирался от Африки до Южной Америки в экваториальных широтах, сильные течения все равно должны были течь на запад вдоль его северного берега под воздействием особенно сильных пассатов, которые создавала экваториальная суша. Тем не менее в такое время в Северную Атлантику, по-видимому, поступало относительно немного теплой тропической воды, поскольку она стекала в Тихий океан. В несколько других периодов, таких как поздний ордовик и средний девон, когда существовал истмийский барьер, он, вероятно, поворачивал важное течение на север, в то, что сейчас является бассейном Миссисипи, а не в Атлантику. Там он пересекал эпейрическое, или срединно-континентальное, море, открытое как на север, так и на юг. Следовательно, его эффективность в потеплении арктических регионов, должно быть, сильно отличалась от эффективности нынешнего Гольфстрима.

(б) Далее мы рассмотрим влияние изменений в объеме экваториальной и тропической суши. Поскольку в таких землях намного жарче, чем в соответствующих морях, интенсивность и ширина экваториального пояса низкого давления должны быть велики, когда они обширны. Следовательно, пассаты, должно быть, были сильнее, чем сейчас, когда тропические земли были более обширными, чем сейчас. Это потому, что пассаты возникают в результате конвекции из-за чрезмерного нагрева вдоль теплового экватора. Там воздух расширяется вверх и течет в направлении полюса на больших высотах. Пассат состоит из воздуха, движущегося к теплому экватору, чтобы занять место воздуха, который там поднимается. Когда земли в низких широтах были широкими, пассаты, должно быть, также доминировали в широком поясе. Большая ширина пояса пассатов сегодня над Африкой, чем над Атлантикой, иллюстрирует этот вопрос. Пояс, должно быть, был еще шире, когда Земля Гондвана была большой, как это, как полагают, было в палеозойскую эру и ранний мезозой.

Увеличение ширины экваториального пояса низкого давления под влиянием обширных тропических территорий сопровождалось бы не только более сильными и распространенными пассатами, но и соответствующим усилением субтропических поясов высокого давления. Главной причиной могло бы быть большее расширение воздуха в экваториальном поясе низкого давления и, как следствие, более обильный отток воздуха на больших высотах в виде встречных пассатов или ветров, возвращающихся к полюсу выше пассатов. Такие ветры нагнетали бы воздух в районе пояса высокого давления. Более того, поскольку меридианы

сходятся по мере удаления от экватора, воздух движущихся в направлении полюса антитрейдеров имеет тенденцию к перенаселению по мере того, как он достигает более высоких широт, тем самым увеличивая давление. Если бы не было соответствующего увеличения числа тропических циклонов, одним из наиболее заметных результатов усиления пассатов и усиления субтропического пояса высокого давления на обширных территориях в низких широтах были бы огромные пустыни. Следует напомнить, что пассатные низменности и внетропический пояс возвышенностей в настоящее время являются поясами великих пустынь. Пассатные низменности являются пустынными, потому что воздух, перемещающийся в более теплые широты, забирает воду, за исключением тех случаев, когда он охлаждается, поднимаясь по склонам гор. Пояс высот засушлив, потому что там тоже воздух нагревается, но в данном случае за счет спуска с высоты.

Опять же, если бы атмосферное давление в субтропическом поясе усилилось, ветры, идущие от этого пояса к полюсу, обязательно стали бы сильнее. Они начинались бы как юго-западные в северном полушарии и северо-западные в южном. В предыдущей главе мы видели, что такие ветры, особенно когда циклонические штормы немногочисленны и слабы, являются мощным фактором переноса субтропического тепла к полюсу. Если бы сила западных ветров была увеличена из-за обширных территорий в низких широтах, их эффективность в передаче тепла была бы соответственно повышена. Таким образом, очевидно, что любое изменение протяженности тропических земель в геологическом прошлом должно было иметь важные климатические последствия в виде изменения скорости атмосферной циркуляции и изменения переноса тепла из низких широт в высокие. Когда экваториальные и тропические земли были обширными, ветры и течения должны были быть сильными, много тепла должно было уноситься из низких широт, а контраст между низкими и высокими широтами должен был быть относительно небольшим. Как мы уже отмечали, ведущие палеогеографы считают, что изменения в протяженности земель были особенно заметны в низких широтах и что в среднем произошло уменьшение протяженности суши в пределах тропиков. Земля Гондваны - величайшая иллюстрация этого. Точно так же на многочисленных палеогеографических картах Северной Америки большинство палеогеографов показали довольно обширные земли к югу от широты Соединенных Штатов в течение большинства геологических эпох.^[90]

(с) Имеются свидетельства того, что на протяжении геологической истории площадь земель в средних и высоких широтах, а также в низких широтах радикально менялась. Увеличение площади таких земель привело бы к тому, что зимы стали бы холоднее. Отчасти это могло бы быть связано с потерей тепла в результате излучения в холодный сухой воздух над континентами зимой, а отчасти из-за усиленного отражения от снега и инея, которые гораздо чаще скапливаются на суше, чем в океане. Более того, зимой, когда на континентах относительно холодно, существует сильная тенденция к тому, что ветры дуют с континента в сторону океана. Чем больше суша, тем сильнее эта тенденция. В Азии это приводит к сильным зимним муссонам. Влияние таких ветров иллюстрируется тем, как западные направления препятствуют Гольфстриму согревать восточную часть Соединенных Штатов зимой. Гольфстрим согревает северо-западную Европу гораздо сильнее, чем Соединенные Штаты, потому что в Европе преобладают береговые ветры.

Другим следствием увеличения площади суши в средних и высоких широтах было бы создание барьеров для океанической циркуляции и, таким образом, снижение температуры в полярных регионах. Однако это не означало бы оледенения в высоких широтах, даже когда земли были

широко распространены, как в мезозое и раннем третичном периоде. Студенты-гляциологи все больше и больше убеждаются в том, что оледенение зависит от наличия влаги даже в большей степени, чем от низкой температуры.

В заключение можно отметить, что каждое из нескольких климатических воздействий, связанных с увеличением площади суши в высоких широтах, будет иметь тенденцию к увеличению контрастов между сушей и морем, между зимой и летом, а также между низкими и высокими широтами. Другими словами, что касается воздействия на сами высокие широты, расширение земель там будет иметь тенденцию в том же направлении, что и уменьшение в низких широтах. Поскольку общая тенденция геологической эволюции заключалась в увеличении площади суши в высоких широтах и уменьшении - в низких, это помогло бы добиться постепенного увеличения климатического разнообразия, на что слабо указывают слои горных пород. С другой стороны, колебания в распределении земель, о которых геология дает так много свидетельств, несомненно, должны были сыграть важную роль в периодических изменениях климата, которым подвергалась земля.

III. На протяжении геологической истории имеется множество свидетельств того, что процесс сжатия привел к заметным различиям не только в распределении и площади земель, но и в их высоте. В целом суша, по-видимому, увеличилась в высоту со времен протерозоя, отчасти пропорционально усилению дифференциации континентов и океанов.^[91] Если имело место такое увеличение, то контраст между климатом океана и суши, должно быть, усилился, поскольку высокогорья имеют больший дневной и сезонный диапазон температур, чем низменности. В океане очень мало радиуса действия обоих видов. Большой радиус действия на больших высотах обусловлен главным образом небольшим количеством водяного пара, которое неуклонно уменьшается с увеличением высоты. Уменьшение плотности других компонентов воздуха также уменьшает обволакивающий эффект атмосферы. В соответствии с большим сезонным диапазоном температур в периоды, когда земли стоят высоко, направление ветра будет изменяться. Когда на суше заметно теплее, чем в океанах, ветры обычно дуют с суши в море, а когда на континентах намного холоднее, чем в океанах, направление меняется на противоположное. Примером могут служить муссоны в Азии. Сильные сезонные ветры нарушают нормальную планетарную циркуляцию пассатов в низких широтах и западных ветров в средних широтах. Они также вмешиваются в океанские течения, приводимые в движение планетарными ветрами. Конечным результатом является препятствие передаче тепла из низких широт в высокие и, таким образом, увеличение контрастов между зонами. Локальные и зональные контрасты также усиливаются. Чем выше местность, тем, условно говоря, больше облачности и осадков на склонах, обращенных к морю, и тем суше внутренние районы. Действительно, большинство высокогорий засушливы. Недавнее исследование Генри^[92] вертикального распределения осадков на склонах гор показывает, что их уменьшение начинается примерно на высоте 3500 футов в тропиках и лишь немного выше в средних широтах.

В дополнение к основным воздействиям на атмосферную циркуляцию и количество осадков, каждое из многочисленных потрясений на землях должно было сопровождаться множеством второстепенных условий, которые имели тенденцию к разнообразию. Например, ручьи были омоложены, и вместо того, чтобы, возможно, извиваться по обширным пойменным равнинам, они расширили свои русла и во многих случаях вырыли глубокие ущелья. Уровень грунтовых вод был понижен, почва была удалена со значительных площадей, обнажились голые скалы, и тип

доминирующей растительности изменился во многих местах. Почти бесплодный горный хребет может представлять собой все, что осталось от того, что когда-то было обширной лесистой поймой. Таким образом, увеличение высоты местности создает контрастные условия наклона, растительности, наличия грунтовых вод, воздействия ветра и так далее, и все это в совокупности приводит к разнообразию климата. Там, где образуются горы, обязательно возникают сильные контрасты. Наветренные склоны могут быть очень дождливыми, в то время как соседние подветренные склоны иссушены сухим северным ветром. В то же время вершины могут быть покрыты снегом. Известно, что повышенные локальные контрасты климатических условий влияют на интенсивность циклонических штормов,^[93] и они влияют на климатические условия всех средних и высоких широт, если не на всей земле. Траектории, по которым проходят циклонические штормы, также изменяются из-за усиления контраста между сушей и водой. Когда на континентах заметно холоднее, чем в соседних океанах, на суше возникает высокое атмосферное давление, препятствующее прохождению минимумов, которые, следовательно, либо отклоняются вокруг континента, либо вынуждены перемещаться медленно.

Распределение высоких гор оказывает еще более сильное климатическое воздействие, чем общее поднятие региона. В протерозойские времена в районе озера Верхнее существовал обширный хребет; в позднем девоне Акадийские горы Новой Англии и Приморские провинции Канады, возможно, достигали высоты, равной нынешним Скалистым горам. Впоследствии, в позднем палеозое, на том месте, где сейчас находятся уациты, располагался значительный ареал. Вместе с подъемом каждого из этих хребтов и всех других климат окружающей местности, особенно с подветренной стороны, должно быть, сильно изменился. Многие обширные отложения соли, обнаруживаемые сейчас в довольно влажных регионах, например, пенсильванские и пермские отложения Канзаса и Оклахомы, вероятно, были заложены во времена местной засушливости из-за перекрытия несущих влагу ветров горами Лланория в Луизиане и Техасе. Следовательно, такие отложения не обязательно указывают на периоды повсеместной и глубокой засушливости.

Когда геологи впервые рассмотрели причины древнего оледенения, примерно в середине девятнадцатого века, обычно предполагалось, что оледененные районы были подняты на большие высоты и, таким образом, стали достаточно холодными, чтобы допустить накопление ледников. Многочисленные ледники, встречающиеся в Альпах центральной Европы, где зародилась гляциология, несомненно, наводили на такое объяснение. Однако теперь известно, что большая часть древнего оледенения не была альпийского типа, и есть достаточные доказательства того, что ледниковые периоды не могут быть объяснены как вызванные непосредственно и исключительно подъемом. Тем не менее, возвышения земель являются одними из наиболее важных факторов в управлении климатом, и колебания высоты земель, несомненно, способствовали возникновению климатических колебаний, особенно длительных. Более того, постепенное увеличение высоты земель, по-видимому, сыграло свою роль в усилении местного и зонального разнообразия в отличие от относительного единообразия более ранних геологических эпох.

IV. Сжатие земли сопровождалось вулканической активностью, а также изменениями в протяженности, распределении и высоте земель. Вероятная роль вулканической пыли как фактора, способствующего возникновению коротких внезапных климатических изменений, уже обсуждалась. Существует, однако, еще один, хотя, вероятно, и менее важный аспект, в котором

вулканическая активность, возможно, имела, по крайней мере, небольшое климатическое значение. Самые древние известные горные породы, относящиеся к архейской эпохе, содержат так много магматического вещества, что многие исследователи предположили, что они свидетельствуют о том, что вся земля когда-то была жидкой. В настоящее время считается, что они просто указывают на магматическую активность огромных масштабов. В более поздней части протерозоя, во второй четверти истории земли, согласно оценке Шухерта, снова произошли обширные излияния лавы. Например, в районе озера Верхнее на большой территории скопилась толща более мили, и лавы распространены во многих районах, где известны породы такого возраста. Следующая четверть истории земли, насколько известно, протекла без каких-либо соответственно больших оттоков, хотя произошло несколько меньших. Ближе к концу последней четверти и, следовательно, совсем недавно с геологической точки зрения, в меловом и третичном периодах произошел еще один период оттока, возможно, столь же примечательный, как протерозой.

Климатические эффекты таких обширных лавовых потоков были бы, по существу, следующими: во-первых, пока лавы были горячими, они создавали бы локальную систему конвекции с приходящими ветрами. Это, по крайней мере, немного повлияло бы на общие ветры в этом районе. Опять же, там, где лава вытекала в воду, или там, где дождь падал на горячую лаву, происходило бы быстрое испарение, которое увеличивало бы количество осадков. Затем, после того как лава остынет, она все равно будет немного влиять на климат, поскольку ее цвет будет заметно темнее или светлее, чем у средней поверхности. Темные поверхности поглощают солнечное тепло и становятся относительно теплыми, когда на них светит солнце. Темные объекты также излучают тепло быстрее, чем объекты светлого цвета. Следовательно, они быстрее охлаждаются ночью и зимой. Поскольку большинство лав относительно темные, они увеличивают среднесуточный диапазон температур. Следовательно, даже после того, как они остынут, они увеличивают климатическое разнообразие земли.

Количество тепла, отдаваемого в атмосферу обширным потоком лавы, хотя и большое по человеческим меркам, невелико по сравнению с количеством, получаемым от солнца подобной областью, за исключением первых нескольких недель или месяцев, прежде чем лава образует толстую корку. Более того, вероятно, лишь малая часть любой крупной серии потоков произошла в данном столетии или тысячелетии. Более того, даже самые крупные потоки лавы покрывали площадь всего в несколько сотых процента земной поверхности. Тем не менее, условия, изменяющие климат, настолько сложны, что было бы опрометчиво утверждать, что это количество дополнительного тепла не имело климатического значения. Подобно пресловутой "соломинке, переломившей спину верблюда", изменения, которые она, несомненно, произвела бы в местной конвекции, атмосферном давлении и направлении ветра, возможно, помогли бы изменить траектории штормов и вызвать другие осложнения, имевшие заметное климатическое значение.

V. Последний момент, который мы рассмотрим в связи с влиянием недр земли на климат, - это внутреннее тепло. Тепло, выделяемое лавами, - это лишь малая часть того, что излучает земля в целом. На самом раннем этапе геологической истории из недр земли могло выделяться достаточно тепла, чтобы оказать глубокое влияние на климат. Ноултон,^[94] как мы видели, недавно построил сложную теорию на основе этого предположения. Однако в настоящее время точные измерения показывают, что утечка тепла настолько незначительна, что не оказывает

заметного влияния, за исключением нескольких вулканических областей. По оценкам, это повышает среднюю температуру поверхности Земли менее чем на 0,1°C.^[95]

Чтобы выделить достаточно тепла для повышения температуры поверхности на 1 °C, температурный градиент от недр земли к поверхности должен был бы быть в десять раз больше, чем сейчас, поскольку скорость теплопроводности напрямую зависит от градиента. Если бы уклон был в десять раз больше, чем сейчас, породы на глубине двух с половиной миль были бы настолько горячими, что, согласно оценкам Баррелла^[96], были бы почти жидкими. Толстые слои неметаморфизованных палеозойских пород указывают на то, что такие высокие температуры не преобладали на таких небольших глубинах со времен протерозоя. Более того, тот факт, что климат был достаточно холодным, чтобы допустить оледенение в начале протерозойской эры и еще от одного до трех раз до открытия палеозоя, предполагает, что скорость отвода тепла не была высокой даже в первой половине зарегистрированной истории земли. И все же, даже если общий отвод тепла никогда не был большим с начала более известной части геологической истории, в ранние времена он, по-видимому, был больше, чем в настоящее время.

Если бы действительно произошло заметное уменьшение количества тепла, выделяемого недрами земли, его последствия соответствовали бы наблюдаемым условиям геологической летописи. Это помогло бы объяснить относительную мягкость зональных, сезонных и локальных контрастов климата в ранние геологические времена, но не помогло бы объяснить длительные колебания от эпохи к эпохе, которые, по-видимому, имели гораздо большее значение. Эти колебания, насколько мы пока можем судить, могли быть частично вызваны изменениями солнечной активности, но в значительной степени они, по-видимому, объясняются изменениями протяженности, распределения и высоты земель. Такие колебания, по-видимому, являются неизбежным результатом сжатия земли.

ГЛАВА XII

ПОСЛЕЛЕДНИКОВЫЕ ДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ И КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ

Интересное практическое применение некоторых из предыдущих обобщений можно найти в попытке К. Э. П. Брукса^[97] интерпретировать послеледниковые климатические изменения почти полностью в терминах движения земной коры. Мы считаем, что он заходит слишком далеко, но его обсуждение достойно довольно полного пересказа не только из-за его теоретической ценности, но и потому, что оно дает хорошее представление о послеледниковых изменениях. Его климатическая таблица для северо-западной Европы, перепечатанная из ежегодного отчета Смитсоновского института за 1917 год, стр. 366, выглядит следующим образом:

<i>Фаза</i>	<i>Изменения</i>	<i>даты</i>
1. Последнее Великое оледенение.	Арктический климат.	30,000-18,000 гг. до н. э.
2. Отступление ледников.	Суровый континентальный климат.	18000-6000 гг. до н. э.

3. Континентальная фаза.	Континентальный климат.	6000-4000 гг. до н. э.
4. Морская фаза.	Тепло и влажно.	4000-3000 гг. до н.э.
5. Поздняя лесная фаза.	Тепло и сухо.	3000-1800 до н.э.
6. Фаза торфяного болота.	Более прохладный и влажный.	1800 до Н.э.-300 лет Н.э.
7. Недавний этап.	Становится суше.	300 лет н.э.-

Брукс основывает свою хронологию в основном на измерениях Де Гиром годовых слоев глины на дне озер, но широко использует другие свидетельства. Согласно Бруксу, последняя ледниковая эпоха длилась примерно с 30 000 до 18 000 лет до нашей эры, но она включает в себя небольшое улучшение климата, за которым последовало повторное образование льда, известное как стадия Буля. Во времена максимального оледенения Британские острова были на двадцать-тридцать футов выше, чем сейчас, а Скандинавия была "значительно" более возвышенной. Автор полагает, что это привело к падению температуры на 1 ° C на Британских островах и на 2 ° C в Скандинавии. С помощью остроумного, хотя и не совсем убедительного метода расчетов он приходит к выводу, что этого понижения температуры, которому способствовало увеличение площади суши, было достаточно, чтобы образовался ледниковый покров в Скандинавии. Относительно небольшая площадь льда охлаждала воздух и создавала зону высокого атмосферного давления. Предполагается, что это, в свою очередь, вызвало дальнейшее расширение льда и привело к полноценному оледенению.

Около 18000 года до нашей эры отступление льдов началось всерьез. Несмотря на то, что никаких доказательств пока найдено не было, Брукс считает, что, должно быть, произошли изменения в распределении суши и моря, объясняющие уменьшение площади льда. Последующие тысячелетия сформировали магдалинийский период в истории человечества, последнюю стадию палеолита, когда человек жил в пещерах, а в Центральной Европе было много северных оленей.^[98] Сначала лед отступал очень медленно, и бывали периоды, когда в течение десятков лет кромка льда оставалась неподвижной или даже смещалась заново. Около 10 000 лет до н.э. Край льда пролегал вдоль южного побережья Швеции. В течение следующих 2000 лет он отступал более быстрыми темпами примерно до 59 ° северной широты. Затем наступила фенноскандинавская пауза, или стадия Гшница, когда около 200 лет кромка льда оставалась в одном положении, образуя огромную морену. Брукс предполагает, что эта пауза около 8000 г. до н.э. была вызвана закрытием сообщения между Атлантическим океаном и Балтийским морем и синхронным открытием сообщения между Балтийским и Белым морями, в результате чего холодные арктические воды заменили более теплые атлантические воды. Однако он отмечает, что около 7500 г. до н.э. наклон эклиптики, вероятно, был почти на 1 ° больше, чем в настоящее время. По его расчетам, это привело к тому, что климат Германии и Швеции составил 1 ° F. зимой холоднее, чем сейчас, и на 1 ° F. летом теплее.

Следующий климатический этап был отмечен повышением температуры примерно до 6000 г. до н.э. В этот период лед сначала отступил, предположительно из-за улучшения климата, хотя причина такого улучшения не установлена. В конце концов лед залег достаточно далеко на север, чтобы обеспечить связь между Балтикой и Атлантикой через озера Венер и Веттер на юге Швеции. Предполагается, что это согрело Балтийское море и привело к тому, что климат стал заметно мягче. Затем суша снова поднялась, так что Балтийское море отделилось от Атлантического и превратилось в пресноводное озеро Анкилус. Юго-западный регион

Балтийского моря тогда был на 400 футов выше, чем сейчас. Результатом стала стадия Дауна, около 5000 г. до н.э., когда лед остановился или, возможно, немного продвинулся вперед, его фронт находился тогда недалеко от Рагунды примерно на 63 ° широты. Почему такое поднятие не вызвало возобновления оледенения вместо простой небольшой даунской паузы, Брукс не объясняет, хотя его расчеты относительно эффекта небольшого поднятия суши в течение основного периода оледенения с 30 000 до 18 000 г. до н.э., по-видимому, требуют значительного пересмотра.

После 5000 г. до н.э. наступил период, когда климат, хотя и все еще отчетливо континентальный, был относительно мягким. Зимы, конечно, все еще были холодными, но лето становилось все более теплым. Например, в Швеции типы растительности указывают на то, что летняя температура была на 7 ° F. выше, чем сейчас. Штормы, предполагает Брукс, были сравнительно редкими, за исключением внешних границ Великобритании. Там их было достаточно много, так что на Северо-западе они дали начало первому торфяно-болотному периоду, в течение которого болота сменили березовые и сосновые леса. Однако на юге и востоке Англии, вероятно, был сухой континентальный климат. Даже на северо-западе Норвегии штормы были редкостью, о чем свидетельствуют остатки лесов на островах, ныне бесплодных из-за сильных ветров и свирепых штормов. Дальше на восток большая часть центральной и северной Европы была относительно засушливой. Это был период раннего неолита, когда человек перешел от использования неотшлифованных каменных орудий к полированным.

Недалеко от 4000 года до н.э. период континентального климата сменился сравнительно влажным морским климатом. Брукс считает, что это произошло потому, что затопление открыло устье Балтийского моря и привело к тому, что пресное озеро Анкилус уступило место так называемому морю Литорина. Средняя температура в Швеции составляла около 3 ° F. выше, чем в настоящее время, и на юго-западе Норвегии на 2 °. Более важным, чем это, был небольшой годовой диапазон температур из-за того факта, что лето было прохладным, а зима мягкой. Из-за наличия большого водного пространства в Балтийском регионе штормы, как утверждает наш автор, затем пересекли Великобританию и последовали за Балтийской впадиной, унося влагу далеко вглубь страны. Несмотря на дополнительную влагу, полученную таким образом, снежный покров на юге Норвегии был выше, чем сейчас.

В этот момент Брукс обращается к другим частям света. Он утверждает, что недалеко от 4000 года до н.э. затопление суши, редко превышавшее двадцать пять футов, имело место не только в Балтийском регионе, но и в Ирландии, Исландии, Шпицбергене и других частях Северного Ледовитого океана, а также в Белом море, Гренландии и восточной части Северной Америки. Свидетельства мягкого климата обнаружены во всех этих местах. Аналогичные свидетельства мягкого теплого климата обнаружены в Восточной Африке, Восточной Австралии, Огненной Земле и Антарктиде. Даты не установлены с уверенностью, но они, по крайней мере, относятся к периоду, непосредственно предшествующему нынешней эпохе. Объясняя эти условия, Брукс предполагает всеобщее изменение уровня моря. С некоторыми колебаниями он предполагает, что это могло быть связано с одним из периодов максимальной "силы, порождающей приливы" Петтерссона. По словам Петтерссона, изменение положения Луны, земли и солнца приводит к тому, что приливы и отливы меняются циклами продолжительностью около 9, 90 и 1800 лет, хотя продолжительность периодов не постоянна. Когда приливы высоки, происходит сильное

движение океанских вод и, следовательно, большое смещение воды на разных широтах. Предполагается, что это приведет к улучшению климата. Периоды максимальной и минимальной силы прилива следующие:

Максимумы 3500 г. до н. э. ---- 2100 До н.э. ---- 350 До Н.э. ---- 1434 г. н. э.

Минимумы ----- 2800 До н. э. ---- 1200 До н. э. ----- 530 ----

Брукс считает, что большие деревья в Калифорнии, скандинавские саги и германские мифы указывают на приблизительное совпадение климатических явлений с последними тремя датами Петтерссона, в то время как мягкий климат 4000 года до н.э. на самом деле может относиться к 3500 году до н.э. Он не приводит доказательств, подтверждающих точку зрения Петтерссона относительно трех других дат.

Возвращаясь к наброску Брукса об отношении климатических пульсаций к высоте земель к 3000 году до н.э., то есть к концу периода неолита, предполагается, что дальнейшее повышение произошло над центральными широтами Западной Европы. Южная Британия, которая постоянно оставалась выше своего нынешнего уровня с 30 000 года до нашей эры, была, возможно, на девяносто футов выше, чем сейчас. Ирландия была несколько увеличена за счет возвышения, Дуврский пролив был почти закрыт, а части нынешнего Северного моря были сушей. Этим условиям Брукс приписывает преобладание сухого континентального климата. Штормы снова переместились на север, ветры были слабыми, о чем, по-видимому, свидетельствуют остатки деревьев на открытых местах; и леса заменили поля торфа и вереска в Британии и Германии. Лето было, возможно, теплее, чем сейчас, но зимы были суровыми. Относительно сухой климат преобладал на западе вплоть до Ирландии. Например, в Драмкелин-Болоте в графстве Донегол к этому времени, по-видимому, относятся дубовая дорога и двухэтажный бревенчатый домик. Четырнадцать футов болота лежат ниже пола и двадцать шесть выше. Этот период, возможно, 3000-2000 гг. до н.э., был легендарной героической эпохой Ирландии, когда "сила ирландцев достигла уровня, которого с тех пор не было". Это, как указывает Брукс, могло быть результатом относительно сухого климата, поскольку сегодня чрезмерная влажность Ирландии, по-видимому, является явным препятствием. В Скандинавии цивилизация или, по крайней мере, стадия относительного прогресса в это время также была на высоком уровне.

К 1600 году до нашей эры уровень суши на Британских островах и в южной части Балтийского региона приблизился к своему нынешнему уровню, в то время как северная Скандинавия все еще была ниже, чем сейчас. Климат Британии и Германии был настолько влажным, что произошло обширное образование торфа даже на возвышенностях, которые ранее не были покрыты. Эта влажная стадия, по-видимому, продолжалась почти до времен Христа и, возможно, была причиной, по которой римляне описывали Британию как особенно влажную. В этот момент Брукс снова переходит из северо-западной Европы в более широкое поле деятельности:

Возможно, что мы должны приписать этот влажный период на Северо-западе Европы какой-то более общей причине, поскольку кривые роста деревьев в Калифорнии Эллсворта Хантингтона и климат в Западной Азии показывают более влажные условия примерно с 1000 г. до н.э. по 200 г. н.э., и тот же автор считает, что на средиземноморских землях выпало больше осадков примерно с 500 г. до н.э. по 200 г. н.э. Похоже, что эта фаза была отмечена общим усилением штормовой активности, по крайней мере, в умеренных

регионах северного полушария, с максимумом между Ирландией и Северной Германией, что, вероятно, указывает на то, что Балтийское море снова стало излюбленным местом впадин со стороны Атлантики.

Брукс заканчивает свою статью кратким обзором ледниковых изменений в Северной Америке, но поскольку методы датировки событий ненадежны, степень синхронности с Европой неясна. Он резюмирует свои выводы следующим образом:

В целом представляется, что, хотя в климатической истории двух берегов Северной Атлантики имеется общее сходство, изменения на самом деле происходят не одновременно, и такая взаимосвязь, как кажется, обусловлена главным образом естественным сходством географической истории двух регионов, оба восстанавливающихся после ледникового периода, и лишь очень частично всемирными колебаниями климата. Дополнительные доказательства по этому вопросу будут доступны, когда барон де Гир опубликует результаты своих недавних исследований сезонных ледниковых глин Северной Америки, особенно если, как он надеется, ему удастся соотнести полосчатость этих глин с годовыми кольцами больших деревьев.

Когда мы обращаемся к северо-западу Северной Америки, это становится очень заметно. Ибо на Юконе и Аляске ледниковый период был очень мягким явлением по сравнению с его суровостью в Восточной Америке и Скандинавии. Поскольку суша не подвергалась сильному оледенению, от которого нужно было восстанавливаться, не произошло сложных географических изменений. Также не было колебаний климата, а просто постепенный переход к нынешним условиям. Последнее обстоятельство, по-видимому, особенно показывает, что акцент, делаемый на географических, а не астрономических факторах *значительных* климатических изменений, не является неуместным.

Кропотливое обсуждение Бруксом послеледниковых климатических изменений представляет огромную ценность из-за большого объема материала, который он так тщательно собрал. Его твердая вера в важность изменений уровня земель заслуживает серьезного рассмотрения. Однако трудно согласиться с его окончательным выводом о том, что такие изменения являются основными факторами недавних климатических изменений. Например, почти невозможно поверить, что движение суши могло вызвать почти такую же серию климатических изменений в Европе, Центральной Азии, западной и восточной частях Северной Америки и южном полушарии. Тем не менее, такие изменения, по-видимому, произошли во время ледникового периода и после него. Опять же, нет никаких доказательств того, что движения суши имеют какое-либо отношение к историческим циклам климата или к циклам погоды в наши дни, которые, по-видимому, совпадают с ледниковыми циклами в малом масштабе. Кроме того, как указывает доктор Симпсон при обсуждении статьи Брукса, по-видимому, "нет решения в этом направлении проблемы, связанной с богатой растительностью на обоих полярных кругах и ледниковым периодом, в результате которого образовался ледяной покров на уровне моря в Северной Индии". Тем не менее, мы вполне можем полагать, что Брукс прав, утверждая, что изменения относительного уровня и относительной площади суши и моря имели важные местные последствия. Хотя они являются лишь одним из факторов, связанных с климатическими изменениями, о них, безусловно, следует постоянно помнить.

ГЛАВА XIII

МЕНЯЮЩИЙСЯ СОСТАВ ОКЕАНОВ И АТМОСФЕРЫ

Обсудив климатические последствия движений земной коры в течение геологического времени, мы теперь готовы рассмотреть соответствующие эффекты, обусловленные изменениями в подвижных оболочках — океанах и атмосфере. Изменения в составе морской воды и воздуха, а также в количестве воздуха почти наверняка имели место и должны были вызвать по крайней мере незначительные климатические последствия. Следует сразу отметить, что такие колебания, по-видимому, гораздо менее важны с климатической точки зрения, чем движения земной коры и изменения в активности солнца. Более того, в большинстве случаев они необратимы, как явления земной коры и солнца. Следовательно, хотя большинство из них, по-видимому, не имели значения с точки зрения климатических колебаний, они, по-видимому, помогли вызвать незначительный вековой прогресс, на который мы так часто ссылались.

Среди геологов существует общее мнение о том, что с течением веков океан становился все более соленым. Действительно, расчеты скорости накопления соли были излюбленным методом получения оценок возраста океана и, следовательно, самых ранних морских отложений. Однако, насколько известно, ни один геолог или климатолог не обсуждал возможные климатические последствия повышения солёности. Тем не менее, кажется очевидным, что увеличение солёности должно оказывать незначительное влияние на климат.

Солёность влияет на климат четырьмя способами: (1) она существенно влияет на скорость испарения; (2) она изменяет температуру замерзания; (3) она оказывает определенное косвенное воздействие через изменения в поглощении углекислого газа; и (4) она оказывает влияние на циркуляцию в океане.

(1) Согласно экспериментам Мазелле и Окады, о которых сообщил Крюммель,^[99] испарение обычной морской воды происходит на 9-30% медленнее, чем из пресной воды при аналогичных условиях. Отклонение от 9 до 30%, обнаруженное в ходе экспериментов, зависит, возможно, от скорости ветра. Когда соленая вода застаивается, быстрое испарение приводит к образованию пленки соли на поверхности воды, особенно там, где она защищена от ветра. Такая пленка обязательно уменьшает испарение. Следовательно, относительно низкая солёность океанов в прошлом, вероятно, имела тенденцию увеличивать количество водяного пара в воздухе. Даже небольшое количество водяного пара немного усиливает обволакивающий эффект воздуха и в этой степени уменьшает дневной и сезонный диапазон температур и контраст от зоны к зоне.

(2) Повышенная солёность означает более низкую температуру замерзания океанов и, следовательно, будет оказывать влияние в холодные периоды, такие как нынешний и плейстоценовый ледниковые периоды. Однако это не имело бы значения в течение длительных теплых периодов, которые составляют большую часть геологического времени. Солёность около 3,5% в настоящее время снижает температуру замерзания океана примерно на 2 °C ниже, чем у пресной воды. Если бы океан был пресным, а наши зимы такими же холодными, как сейчас, все гавани Новой Англии и Среднеатлантических штатов были бы скованы льдом. Балтийское море также замерзало бы каждую зиму, и даже восточные гавани Британских островов часто оказывались бы скованными льдом. В высоких широтах площадь постоянно замерзающих океанов была бы значительно увеличена. Влияние такого состояния на морскую флору и фауну в высоких широтах было бы подобно изменению климата на более теплый. Это

защищало бы жизнь на континентальном шельфе от жестоких зимних штормов. Это также уменьшило бы суровую зимнюю температуру воды, поскольку при замерзании вода отдает много скрытого тепла — восемьдесят калорий на кубический сантиметр. Частично это повышает температуру нижележащей воды.

Расширение ледяного покрова у северных берегов повлияло бы на жизнь суши совершенно иначе, чем на жизнь океанов. Это действовало бы как добавление суши к континентам и, следовательно, увеличивало бы атмосферные контрасты от зоны к зоне и от внутренних районов континента к океану. Летом морской лед, как правило, сохраняет прохладу прибрежных земель, как это происходит сейчас вблизи Северного Ледовитого океана, где льдины оказывают большое влияние благодаря отражению света и поглощению тепла при таянии. Зимой фактическое расширение континентов за счет добавления ледяной каймы уменьшило бы количество снегопадов на суше. Еще более важным был бы эффект усиления антициклонических условий, которые обычно преобладают зимой не только над континентами, но и над покрытыми льдом океанами. Следовательно, дующие холодные ветры должны были бы усиливаться.^[100] Суммарным эффектом всех этих условий, по-видимому, было бы уменьшение количества выпадающего снега в высоких широтах на суше, даже несмотря на то, что летом количество выпадающего снега на океане и побережьях могло увеличиться. Это условие, возможно, было одной из причин, почему повсеместное оледенение, по-видимому, не преобладало в высоких широтах во время протерозойского и пермского оледенений, хотя оно происходило дальше на юг. Если бы океан в те ранние ледниковые эпохи был покрыт льдом вплоть до средних широт, отсутствие обширного оледенения в высоких широтах было бы не более удивительно, чем отсутствие плейстоценового оледенения в северных частях Аляски и Азии. Большие ледяные покровы невозможны без большого запаса влаги.

(3) Среди косвенных эффектов солёности одним из главных, по-видимому, является то, что низкая солёность воды в прошлом и большая лёгкость, с которой она замерзала, предположительно, позволяли температуре всего океана быть немного выше, чем сейчас. Это происходит потому, что лед служит защитным слоем и препятствует излучению тепла от нижележащей воды. Температура океана имеет климатическое значение не только напрямую, но и косвенно, оказывая влияние на количество углекислого газа, удерживаемого океанами. Изменение даже на 1 °C по сравнению с нынешней средней температурой в 2 °C. изменило бы способность всего океана поглощать углекислый газ примерно на 4 процента. Это, по словам Ф. В. Кларка,^[101] связано с тем, что океаны содержат в восемнадцать-двадцать семь раз больше углекислого газа, чем воздух, если учитывать только свободный углекислый газ, и примерно в семьдесят раз больше, согласно Джонсону и Уильямсону^[102], если учитывать также частично объединенный углекислый газ. Более того, способность воды удерживать углекислый газ резко меняется в зависимости от температуры.^[103] Следовательно, повышение температуры всего на 1 °C. теоретически это привело бы к тому, что океаны стали бы выделять от 30 до 280 раз больше углекислого газа, чем сейчас содержится в воздухе. Это, однако, основано на необоснованном предположении, что океаны полностью насыщены. Важным моментом является лишь то, что незначительное изменение температуры океана вызвало бы непропорционально большое изменение количества углекислого газа в воздухе со всеми вытекающими отсюда последствиями в отношении покрытия земли и, следовательно, изменения температуры.

(4) Другое и, возможно, наиболее важное влияние солёности на климат зависит от скорости глубоководной циркуляции. Циркуляция вызывается разницей температур, но на ее скорость,

по крайней мере, незначительно влияет соленость. В вертикальной циркуляции сейчас преобладает холодная вода из приполярных широт. За исключением закрытых морей, таких как Средиземное море, нижние части океана находятся вблизи точки замерзания. Это происходит потому, что холодная вода опускается в высоких широтах из-за своей большей плотности, а затем "переползает" в низкие широты. Там она, наконец, поднимается и заменяет либо воду, уносимую ветрами к полюсу, либо ту, которая испарилась с поверхности.^[104]

В прошлые века, когда морская вода была менее соленой, циркуляция, по-видимому, была более быстрой, чем сейчас. Это произошло потому, что в тропических регионах подъему холодной воды препятствует опускание теплой поверхностной воды, которая является относительно плотной, поскольку испарение удалило часть воды и вызвало накопление соли. Согласно Крюммелю и Миллю,^[105] поверхностная соленость субтропического пояса Северной Атлантики обычно превышает 3,7‰ и иногда достигает 3,77‰, тогда как нижележащие воды имеют соленость менее 3,5‰, а локально всего 3,44‰. Другие океаны немного менее соленые, чем Северная Атлантика, на всех глубинах, но вертикальные градиенты солености вдоль тропиков аналогичны. Согласно физическим таблицам Смитсоновского института, разница в солености между поверхностной водой и водой, лежащей ниже, эквивалентна разнице в 0,003 плотности, где плотность пресной воды принимается равной 1,000. Поскольку снижение плотности, вызванное нагреванием воды с температуры ее наибольшей плотности (4 °C) до самых высоких температур, которые когда-либо преобладали в океане (30 °C или 86 °F.), составляет всего 0,004, более соленые поверхностные воды сухих тропиков в большинстве случаев почти такие же плотные, как менее соленые, но более холодные воды под поверхностью, которые пришли из более высоких широт. Однако в дни особенно сильного испарения наиболее соленые участки поверхностных вод в сухих тропиках более плотные, чем нижележащие воды, и поэтому опускаются, вызывая временный локальный застой в общей циркуляции. О таком опускании теплых поверхностных вод сообщает Крюммель, который обнаружил это по повышению температуры, которое оно вызывает на значительных глубинах. Если бы такого препятствия для циркуляции не существовало, скорость глубоководных движений была бы больше.

Если в прежние времена происходила более быстрая циркуляция, низкие широты, должно быть, были охлаждены сильнее, чем сейчас, из-за подъема холодных вод. В то же время более высокие широты, по-видимому, нагревались за счет большего притока теплой воды из тропических регионов, поскольку в низких широтах поступало меньше поверхностного тепла. Такие условия, как правило, уменьшали бы климатический контраст между различными широтами. Следовательно, поскольку скорость глубоководной циркуляции зависит от солености, медленно увеличивающееся количество соли в океанах, должно быть, имело тенденцию усиливать контрасты между низкими и высокими широтами. Таким образом, по нескольким причинам увеличение солености в течение геологической истории, по-видимому, заслуживает места среди второстепенных факторов, которые помогают объяснить очевидную тенденцию к вековому изменению климата в направлении усиления контрастов между тропическими и приполярными широтами.

Изменения в составе и количестве атмосферы, предположительно, имели большее климатическое значение, чем изменения солености океанов. Атмосферные изменения могли быть либо прогрессивными, либо циклическими, либо и тем и другим. В прежние времена, согласно небулярной гипотезе, атмосфера была намного плотнее, чем сейчас, и содержала

большой процент определенных компонентов, в частности углекислого газа и воды.

Планетезимальная гипотеза, с другой стороны, постулирует увеличение плотности атмосферы, поскольку, согласно этой гипотезе, плотность атмосферы зависит от способности земли удерживать газы, и эта способность увеличивается по мере того, как земля становится больше при постоянном поступлении материала извне.^[106]

Какая бы гипотеза ни была правильной, представляется вероятным, что, когда жизнь впервые появилась на суше, атмосфера в некоторых фундаментальных отношениях напоминала современную. Он содержал элементы, необходимые для жизни, и его обволакивающий эффект был таким, что поддерживал температуру, не сильно отличающуюся от нынешней.

Доказательства этого в значительной степени зависят от узких пределов температуры, в пределах которых возможна деятельность современной жизни, и от совокупных свидетельств того, что древняя жизнь была по существу схожа с типами, живущими сейчас. Сходство между некоторыми из древнейших форм и современными поразительно. Например, по словам профессора Шухерта:^[107] "Многие из ныне живущих родов лесных деревьев берут свое начало в меловом периоде, а гигантские секвойи Калифорнии восходят к триасу, в то время как гинкго известно в пермском периоде. Некоторые из пресноводных моллюсков, несомненно, жили в ранние периоды мезозоя, а современная легочная рыба (*Ceratodus*) известна еще в триасе и не очень отличается от других легочных рыб девона. Высшие позвоночные и насекомые, с другой стороны, очень чувствительны к окружающей среде и поэтому в целом не простираются дальше кайнозоя и лишь в нескольких случаях доходят даже до олигоцена. С морскими беспозвоночными история совсем иная, поскольку хорошо известно, что мечехвост (*Limulus*) жил в верхней юре, а наutilus - в триасе, при этом формы в девоне недалеко ушли от этого рода. Еще более распространенные роды встречаются среди брахиопод, поскольку у ныне живущих язычков и черепов есть специфические представители еще в раннем ордовике. Среди ныне живущих фораминифер лагена, глобигерина и узловатая известны в позднем кембрии или раннем ордовике. В Среднем кембрии близ Филда, Британская Колумбия, Уолкотт обнаружил самый разнообразный набор беспозвоночных, среди которых есть ракообразные, недалеко ушедшие от живых форм. Зоологи, которые видят эти замечательные окаменелости, сразу поражаются их современности и небольшим изменениям, произошедшим в некоторых популяциях с тех далеких времен. После палеозоя мало что можно сказать о жизни с общей точки зрения, поскольку было найдено так мало окаменелостей, но то, что есть под рукой, говорит о том, что морская среда была похожа на современную".

В настоящее время, как мы неоднократно видели, ни у животных, ни у растений при температуре ниже 0°C наблюдается незначительный рост. или выше 40 ° C, а для большинства видов предельные температуры составляют от 10 ° до 30 °. Поддержание столь узкой шкалы температур зависит как от атмосферы, так и от солнца. Без атмосферы температура днем роковым образом повышалась бы везде, где солнце находится высоко в небе. Ночью температура повсюду падала бы до температуры, приближающейся к абсолютному нулю, то есть -273 ° C. Примерно такая температура преобладает на высоте нескольких миль над поверхностью земли, за пределами эффективной атмосферы. Действительно, даже если бы атмосфера была почти такой, как сейчас, но не хватало бы только одной из второстепенных составляющих, составляющей, которая часто фактически игнорируется в заявлениях о составе воздуха, жизнь была бы невозможна. Тиндалл приходит к выводу, что если бы водяной пар был полностью удален из атмосферы в течение одного дня и одной ночи, вся жизнь — за исключением той, которая находится в состоянии покоя в виде семян, яиц или спор — была бы

уничтожена. Часть погибла бы из-за высокой температуры, сложившейся днем, когда солнце стояло высоко, а часть - из-за холодной ночи.

Свидетельство древнего оледенения о незначительной разнице в климате и, следовательно, в атмосфере ранних и поздних геологических эпох почти так же ясно, как свидетельство жизни. Точно так же, как жизнь доказывает, что земля никогда не могла быть чрезвычайно холодной в течение сотен миллионов лет, так и оледенение в умеренно низких широтах около на заре истории Земли и в несколько более поздних периодов доказывает, что земля не была особенно горячей даже в те первые дни. Постепенное изменение климата, которое зафиксировано в горных породах, по-видимому, лишь в незначительной степени было изменением средней температуры земли в целом и почти полностью изменением распределения температуры от места к месту и от сезона к сезону. Следовательно, представляется вероятным, что ни собственное излучение тепла землей, ни поступление солнечного тепла, ни способность атмосферы удерживать тепло не могли быть намного больше несколько сотен миллионов лет назад, чем сейчас. Действительно, возможно, что эти три фактора варьировались таким образом, что любое изменение одного из них было компенсировано изменениями других в противоположном направлении. Это, однако, настолько маловероятно, что представляется целесообразным предположить, что все три оставались относительно постоянными. Этот вывод вместе с осознанием климатического значения углекислого газа заставил большинство приверженцев небулярной гипотезы отказаться от своего предположения о том, что углекислого газа, самого тяжелого газа в воздухе, было очень много, пока его не извлекли углеобразующие растения или не объединили с оксидом кальция магматических пород, образуя известняк, выделяемый животными. Точно так же наличие солнечных трещин в осадочных породах всех возрастов предполагает, что воздух не мог содержать огромных количеств водяного пара, как предполагали Ноултон и другие, чтобы объяснить отсутствие резкого климатического контраста между зонами. Такое большое количество водяного пара почти наверняка сопровождалось бы почти повсеместной и постоянной облачностью, так что у озер на пропитанной водой поверхности земли было бы мало шансов пересохнуть. Более того, есть только один способ, которым можно поддерживать такую облачность, и это поддержание почти постоянной температуры воздуха днем и ночью. Для этого потребовалось бы, чтобы главным источником тепла были внутренние слои земли, что, по-видимому, опровергают протерозойские, пермские и другие широко распространенные оледенения.

Таким образом, по-видимому, имеются убедительные доказательства против радикальных изменений в атмосфере, которые иногда постулируются. Тем не менее, некоторые изменения должны были иметь место, и даже незначительные изменения должны были сопровождаться каким-либо климатическим эффектом. Изменения будут выражаться либо в увеличении, либо в уменьшении атмосферы в целом, либо в составляющих ее элементах. Основными способами увеличения плотности атмосферы, по-видимому, являются следующие: (а) за счет поступления из недр земли через вулканы и источники и за счет выветривания магматических пород с последующим выделением содержащихся в них газов;^[108] (б) за счет выхода некоторых из обильных газов, которые содержатся в океане в виде раствора; (в) за счет поступления на землю газов из космоса, либо в виде метеоритов, либо в виде свободно летящих молекул; (г) за счет выделения газов из органических соединений путем окисления или выдоха животных и растений. С другой стороны, тот или иной из компонентов атмосферы предположительно уменьшился (а) из-за того, что был заперт во вновь образовавшихся горных породах или

органических соединениях; (б) из-за растворения в океане; (в) из-за выхода молекул в космос; и (г) из-за конденсации водяного пара.

Совокупный эффект различных средств увеличения и уменьшения зависит частично от количества каждого компонента, поступающего из недр земли или из космоса, а частично от того факта, что факторы, способствующие истощению атмосферы, обладают высокой избирательностью в своем действии. Наши знания о том, какое большое количество новых газов поступило в воздух, очень скудны, но, судя по нынешним условиям, общая тенденция заключается в медленном увеличении, главным образом из-за метеоритов, вулканической активности и работы глубинных источников. Что касается уменьшения, то здесь дело обстоит яснее. Это связано с тем, что химически активные газы, кислород, CO_2 и водяной пар, имеют тенденцию задерживаться в горных породах, в то время как химически инертные газы, азот и аргон, почти не проявляют такой тенденции. Хотя кислород на сегодняшний день является самым распространенным элементом в земной коре, составляя более 50 процентов от общего количества, он составляет лишь около одной пятой части воздуха. Азот, с другой стороны, очень редко встречается в горных породах, но составляет почти четыре пятых воздуха. Следовательно, представляется вероятным, что на протяжении всей истории земли наблюдалось постепенное увеличение количества атмосферного азота и, предположительно, несколько соответствующее увеличение массы воздуха. С другой стороны, неясно, какие изменения произошли в количестве атмосферного кислорода. Возможно, оно несколько увеличилось или, возможно, даже заметно. Тем не менее, из-за большего увеличения содержания азота сейчас он может составлять не больший процент воздуха, чем в далеком прошлом.

Что касается абсолютных количеств кислорода, Баррелл^[109] считал, что атмосферный кислород начал присутствовать только после появления растений. Следует напомнить, что растения поглощают углекислый газ и выделяют углерод от кислорода, используя углерод в своих тканях и высвобождая кислород. В качестве доказательства нехватки кислорода в воздухе в раннепротерозойские времена Баррелл приводит тот факт, что осадочные породы того отдаленного времени обычно имеют сероватый или зеленовато-серый оттенок, или другие типы, указывающие на неполное окисление. Однако он признает, что огромные толщи красных песчаников, кварцитов и гематитовых железных руд позднего протерозоя доказывают, что к тому времени в атмосфере было изобилие кислорода. Если это так, то переход от скудости к изобилию, должно быть, произошел до того, как окаменелостей стало достаточно много, чтобы дать ключ к пониманию климата. Однако свидетельства Баррелла о прежней нехватке атмосферного кислорода не совсем убедительны. Во-первых, не представляется оправданным предполагать, что кислорода не могло быть до тех пор, пока не появились растения, расщепляющие углекислый газ, поскольку некоторое количество кислорода поступает от вулканов,^[110] а молния разлагает воду на ее элементы. Часть высвобожденного таким образом водорода улетучивается в космос, поскольку сила притяжения земли, по-видимому, недостаточно велика, чтобы удержать этот легчайший из газов, но кислород остается. Таким образом, электролиз воды приводит к накоплению кислорода. Во-вторых, нет доказательств того, что древние грейваки не являются раскисленными отложениями. Светлые скальные образования не обязательно указывают на недостаток кислорода в атмосфере, поскольку такие породы встречаются в изобилии даже в недавнее время. Например, для третичных образований характерна светлая окраска, что, однако, является результатом раскисления. Наконец, тот факт, что осадочные породы, независимо от их возраста, содержат в среднем примерно на 1,5% больше кислорода, чем магматические породы,^[111] предполагает, что кислород присутствовал в

воздухе в большом количестве даже тогда, когда образовались самые ранние сланцы и песчаники, поскольку атмосферный кислород, по-видимому, является вероятным источником дополнительного кислорода, который они содержат. В образовании этих конкретных осадочных пород в результате выветривания магматических пород участвует лишь небольшое количество углекислого газа и воды. Хотя представляется вероятным, что кислород присутствовал в атмосфере даже в начале геологической летописи, возможно, тогда его было гораздо меньше в изобилии, чем сейчас. Возможно, он был удален из атмосферы животными или в результате окисления горных пород почти так же быстро, как он был добавлен вулканами, растениями и другими факторами.

После того, как эта глава была напечатана, Сент-Джон^[112] объявил о своем интересном открытии, что в атмосфере Венеры, по-видимому, не хватает кислорода. Он считает, что это доказывает, что на Венере нет жизни. Более того, он приходит к выводу, что такого активного элемента, как кислород, не может быть в изобилии в атмосфере планеты, если растения не будут постоянно поставлять его в больших количествах, расщепляя углекислый газ.

Но даже если с момента появления жизни на земле произошло заметное увеличение содержания кислорода в атмосфере, это не обязательно связано с важными климатическими изменениями, за исключением тех, которые связаны с увеличением плотности атмосферы. Это связано с тем, что кислород оказывает очень слабое влияние на прохождение света или тепла, поскольку он прозрачен для всех волн, кроме нескольких длин. Поглощаемые волны в основном находятся в ультрафиолетовом диапазоне.

Явная возможность увеличения количества кислорода делает более вероятным увеличение общего содержания атмосферы, поскольку кислород дополнял бы увеличение содержания относительно инертных азота и аргона, которое предположительно имело место. Климатические последствия увеличения плотности атмосферы включают, в первую очередь, усиленное рассеяние света по мере приближения к земле. Азот, аргон и кислород - все они рассеивают короткие волны света и, таким образом, препятствуют их достижению земли. Эббот и Фаул,^[113] которые тщательно изучили этот вопрос, считают, что в настоящее время рассеяние имеет количественное значение для уменьшения инсоляции. Следовательно, наше предполагаемое общее увеличение объема воздуха в течение определенного геологического периода времени имело бы тенденцию уменьшать количество солнечной энергии, достигающей поверхности Земли. С другой стороны, азот и аргон, по-видимому, не поглощают большие длины волн, известные как тепло, а кислород поглощает так мало, что практически не является поглотителем. Следовательно, уменьшение проникновения в воздух солнечной радиации из-за рассеяния света, по-видимому, не было бы нейтрализовано каким-либо прямым увеличением защитного эффекта атмосферы, и температура вблизи поверхности Земли была бы немного снижена из-за более плотной атмосферы. Это уменьшило бы количество водяного пара, который удерживался бы в воздухе, и тем самым еще немного снизило бы температуру.

Во-вторых, более высокое атмосферное давление, которое возникло бы в результате добавления газов в воздух, привело бы к уменьшению скорости испарения, поскольку эта скорость снижается по мере увеличения давления. Уменьшение испарения, по-видимому, еще больше уменьшило бы содержание паров в атмосфере. Это означало бы больший дневной и сезонный диапазон температур, что совершенно очевидно, если сравнить ясную погоду с облачной. Облачные ночи относительно теплые, в то время как ясные ночи прохладные, потому

что водяной пар является почти идеальным поглотителем лучистого тепла, и во влажные ночи его в воздухе достаточно, чтобы сильно мешать отводу тепла, накопленного за день. Следовательно, если раньше атмосферной влаги было гораздо больше, чем сейчас, то температура должна была быть гораздо более равномерной. Тенденция к суровости климата с течением времени еще больше усилилась бы из-за охлаждения, которое возникло бы в результате увеличения скорости ветра, обсуждаемого ниже; поскольку охлаждение за счет конвекции увеличивается со скоростью ветра, как и охлаждение за счет теплопроводности.

Любое постоянное снижение общей температуры воздуха повлияло бы не только на его способность удерживать водяной пар, но и привело бы к уменьшению количества углекислого газа в атмосфере, поскольку чем холоднее становится океан, тем больше углекислого газа он может удерживать в виде раствора. Когда температура в океане падает, часть атмосферного углекислого газа растворяется в океане. Этот второстепенный компонент воздуха важен, потому что, хотя он составляет всего 0,003% земной атмосферы, расчеты Эббота и Фаула^[114] показывают, что он поглощает более 10% тепла, излучаемого землей наружу. Следовательно, колебания количества углекислого газа могли вызвать заметные колебания температуры и, следовательно, других климатических условий. Хамфриз, как мы видели, подсчитал, что удвоение содержания углекислого газа в воздухе непосредственно повысило бы температуру земли на 1,3 ° C, а уменьшение вдвое снизило бы ее на такую же величину. Косвенные результаты такого увеличения или уменьшения могут быть больше прямых результатов, поскольку изменение температуры из-за колебаний содержания углекислого газа изменит способность воздуха удерживать влагу.

В этом отношении особенно помогли бы два условия: во-первых, изменения в ночном охлаждении и, во-вторых, изменения в локальной конвекции. Присутствие углекислого газа уменьшает ночное похолодание, поскольку он поглощает тепло, излучаемое землей, и частично повторно излучает его обратно. Следовательно, при увеличении содержания углекислого газа и, как следствие, более теплых ночах будет происходить меньшая ночная конденсация водяного пара с образованием росы и инея. На локальную конвекцию влияет углекислый газ, поскольку этот газ уменьшает температурный градиент. В общем, чем меньше градиент, то есть чем меньше контраст между температурой на поверхности и выше, тем меньше происходит конвекция. Это иллюстрируется сезонными колебаниями конвекции. Летом, когда уклон наиболее крутой, конвекция достигает максимума. Напомним, что при подъеме воздух охлаждается за счет расширения, а если он поднимается высоко, влага вскоре конденсируется и выпадает в осадок. Действительно, С. Р. Дау считает локальную конвекцию главным фактором, препятствующим постоянному насыщению нижних слоев воздуха влагой. Присутствие углекислого газа уменьшает конвекцию, поскольку оно увеличивает поглощение тепла в зоне выше уровня, в котором много водяного пара, тем самым согревая эти более высокие слои. Нижний слой воздуха может не нагреваться соответствующим образом из-за увеличения содержания углекислого газа, если Эббот и Фаул прав, утверждая, что вблизи поверхности земли достаточно водяного пара, чтобы поглощать практически все длины волн, которые способен поглощать углекислый газ. Следовательно, углекислый газ в основном эффективен на высотах, до которых низкая температура препятствует подъему водяного пара. Углекислый газ также эффективен в холодные зимы и в высоких широтах, когда даже нижний воздух слишком холодный, чтобы содержать много водяного пара. Более того, ДИОКСИД

углерода, изменяя количество водяного пара в атмосфере, оказывает как косвенное, так и прямое влияние на температуру.

Другими последствиями повышения давления воздуха, которые мы здесь предполагаем, по крайней мере, в начале геологического периода, являются соответствующие изменения барометрических контрастов, силы ветров и массы воздуха, переносимого ветрами вдоль поверхности земли. Увеличение массы воздуха привело бы к увеличению скорости ветров в их действии как разрушающих и переносящих факторов. Из-за большего веса воздуха ветры были бы способны поднимать больше пыли и переносить ее дальше и выше; в то время как повышенное атмосферное трение удерживало бы ее в воздухе более длительное время. Значение пыли на высоких уровнях и ее связь с солнечной радиацией уже обсуждались в связи с вулканами. Напомним, что в среднем она снижает температуру поверхности. На более низких уровнях, поскольку пыль быстро поглощает тепло и быстро отдает его, ее присутствие повышает температуру воздуха днем и понижает ночью. Следовательно, увеличение запыленности имеет тенденцию к большим экстремальным значениям.

Из всех этих соображений следует, что если атмосфера действительно эволюционировала в соответствии с предположением, которое здесь рассматривается в предварительном порядке, то общая тенденция результирующих климатических изменений должна была заключаться частично в длительных геологических колебаниях, а частично в общем, хотя и очень незначительном, усилении суровости климата и контрастов между зонами. Это, по-видимому, согласуется с геологическими данными, хотя тот факт, что мы живем в эпоху относительной суровости климата, может ввести нас в заблуждение.

Важным фактом во всем этом деле является то, что все три великих типа земных агентов, а именно, те, что действуют в недрах земли, те, что действуют в океанах, и те, что действуют в воздухе, по-видимому, претерпели изменения, которые приводят к медленным колебаниям климата. Несомненно, имело место много обратных изменений, и вызванные таким образом геологические колебания, по-видимому, имеют гораздо большее значение, чем прогрессивные изменения, однако, насколько мы можем судить, чисто земные изменения на протяжении сотен миллионов лет геологического времени имели тенденцию к усложнению и усилению контрастов от континента к океану, от широты к широте, от сезона к сезону и от дня к ночи.

На протяжении геологической истории медленная и почти незаметная дифференциация земной поверхности была одним из наиболее примечательных изменений. Этому противостоит необычайный консерватизм Вселенной, из-за которого средняя температура сегодня настолько похожа на ту, что была сотни миллионов лет назад, что многие типы жизни практически идентичны. Тем не менее, дифференциация продолжается. Конечно, часто это, по-видимому, полностью маскировалось возмущениями солнечной атмосферы, которые, по-видимому, были причиной более резких и коротких климатических пульсаций. Но независимо от космического консерватизма и солнечных импульсов к изменениям, медленная дифференциация земной поверхности, по-видимому, придала сегодняшнему миру большую часть географической сложности, которая является столь стимулирующим фактором органической эволюции. Такая сложность — такое разнообразие от места к месту — по-видимому, в значительной степени объясняется чисто земными причинами. Это можно рассматривать как огромный вклад земли в климатическую среду, которая определяет развитие жизни.

ГЛАВА XIV

ВЛИЯНИЕ ДРУГИХ ТЕЛ НА СОЛНЦЕ

Если солнечная активность действительно является важным фактором, вызывающим климатические изменения, нам следует подвергнуть солнцу такому же исследованию, какому мы подвергли землю. Мы исследовали природу изменений, посредством которых земная кора, океаны и атмосфера влияли на климат в геологические времена. Однако не было необходимости ни изучать происхождение земли, ни проследивать ее более ранние стадии. Наше изучение геологической летописи начинается только тогда, когда земля практически достигла своей нынешней массы, по существу, своей нынешней формы, и климата, настолько похожего на сегодняшней, что жизнь в том виде, в каком мы ее знаем, была возможна. Другими словами, земля прошла стадии младенчества, детства, юности и ранней зрелости и достигла полной зрелости. Поскольку до старости, по-видимому, еще бесконечно далеко, мы заключаем, что в течение геологических периодов ее относительные изменения были не большими, чем те, которые человек испытывает в возрасте, возможно, от двадцати пяти до сорока лет.

Аналогичные рассуждения с равной или большей силой применимы к Солнцу. Из-за своих огромных размеров оно, по-видимому, проходит свои стадии развития гораздо медленнее, чем земля. В первой главе этой книги мы видели, что относительная однородность климата Земли на протяжении сотен миллионов лет, по-видимому, подразумевает аналогичную однородность солнечной активности. Это согласуется с недавней тенденцией среди астрономов, которые все больше и больше признают, что звезды и солнечная система обладают необычайной степенью консерватизма. Изменения, которые когда-то должны были произойти за тысячи лет, теперь, как полагают, потребовали миллионов. Следовательно, в этой главе мы предположим, что на протяжении геологических эпох состояние солнца было почти таким же, как сейчас. Возможно, оно было несколько больше или отличалось другими свойствами, но по сути это было горячее газообразное тело, такое, какое мы видим сегодня, и оно выделяло, по существу, такое же количество энергии. Это предположение повлияет на общую достоверность того, что последует дальше, только в том случае, если оно сильно отклонится от истины. Исходя из этого предположения, давайте тогда исследуем степень, в которой атмосфера Солнца, вероятно, была нарушена на протяжении геологических времен.

В книге *"Земля и Солнце"*, как уже объяснялось, детальное исследование привело к выводу, что циклонические штормы находятся под влиянием электрического воздействия солнца. Такое воздействие, по-видимому, наиболее интенсивно проявляется в солнечных пятнах, но, по-видимому, относится и к другим нарушенным участкам солнечной атмосферы. Изучение солнечных пятен показывает, что их истинная периодичность почти, если не точно, совпадает с периодичностью обращения Юпитера по орбите - 11,8 года. Другие исследования показывают многочисленные замечательные совпадения между солнечными пятнами и орбитальным обращением других планет, включая особенно Сатурн и Меркурий. Это, по-видимому, указывает на то, что есть доля истины в гипотезе о том, что солнечные пятна и другие связанные с ними нарушения солнечной атмосферы обязаны своей периодичности изменяющемуся воздействию планет по мере их приближения к солнцу и удаления от него по своим эксцентричным орбитам и по мере того, как они комбинируют или противодействуют своему воздействию в зависимости от их взаимного положения. Это не означает, что энергия солнечных возмущений должна исходить от планет, но просто что их колебания действуют

подобно повороту выключателя, определяющего, когда и насколько сильно внутренние силы Солнца приведут солнечную атмосферу в волнение. Эта гипотеза ни в коем случае не нова, поскольку в той или иной форме ее отстаивали Вулфер, Биркеланд, Э. В. Браун, Шустер, Арктовски и другие.

Механизм, посредством которого планеты влияют на солнечную атмосферу, пока не ясен. Предполагаемыми факторами являются прямое притяжение, приливный эффект планет и электромагнитный эффект. В *"Земле и Солнце"* делается вывод, что о первых двух не может быть и речи, и с этим выводом соглашается Э. У. Браун. Если не ссылаться на какую-то неизвестную причину, это оставляет электромагнитную гипотезу единственной, имеющей разумное основание. Шустер склоняется к этой точке зрения. Выводы, изложенные в *"Земле и Солнце"* относительно электрической природы влияния солнца на землю, указывают примерно в том же направлении. Следовательно, в этой главе мы исследуем, что произошло бы с солнцем, а следовательно, и с землей, во время их путешествия в космосе, если бы солнечная атмосфера действительно подвергалась возмущениям из-за электрического или иного воздействия других небесных тел. Вряд ли нужно указывать на то, что мы здесь вступаем на весьма спекулятивную почву и что истинность или ложность выводов, сделанных в этой главе, не имеет ничего общего с обоснованностью рассуждений, приведенных в предыдущих главах. Эти главы основаны на предположении, что земные причины климатических изменений дополняются солнечными возмущениями, которые оказывают свое воздействие частично за счет колебаний температуры, но также за счет изменений интенсивности и траекторий циклонических штормов. В настоящей главе предпринята попытка пролить некоторый свет на возможные причины и последовательность солнечных возмущений.

Давайте начнем с анализа имеющихся свидетельств о возмущениях солнечной активности, предшествовавших тому времени, когда были доступны точные данные о солнечных пятнах. Два довольно скудных свидетельства указывают на циклы солнечной активности, длящиеся сотни лет. Одно из них уже обсуждалось в главе VI, где описывался климатический стресс четырнадцатого века. Известно, что в то время солнечных пятен было необычайно много, и наблюдались большие климатические экстремумы. Озера в Центральной Азии вышли из берегов; штормы, засухи, наводнения и холодные зимы были необычайно суровыми в Европе; уровень Каспийского моря поднимался с огромной скоростью; деревья Калифорнии росли с энергией, невиданной веками; самый ужасный из зарегистрированных случаев голода произошел в Англии и Индии; эскимосы, вероятно, были вытеснены на юг увеличивающимся количеством снега в Гренландии; а майя на Юкатане, по-видимому, предприняли свою последнюю слабую попытку возродить цивилизацию под влиянием более сильных штормов и менее постоянных дождей.

Второе доказательство найдено в недавних исчерпывающих исследованиях периодичности, проведенных Тернером^[115] и другими астрономами. Они искали все возможные природные явления, для которых доступны числовые данные за длительный период. Наиболее ценными, по-видимому, являются данные о росте деревьев, разливах Нила, землетрясениях в Китае и солнечных пятнах. Тернер приходит к выводу, что все четыре типа явлений демонстрируют одинаковую периодичность, а именно циклы со средней продолжительностью примерно от 260 до 280 лет. Он предполагает, что если это правда, то циклы роста деревьев и наводнений, оба из которых являются климатическими, вероятно, вызваны внеземными причинами. Тот факт, что

солнечные пятна демонстрируют схожие циклы, предполагает, что причиной являются колебания температуры на солнце.

Эти два свидетельства слишком незначительны, чтобы лечь в основу какой-либо теории относительно изменений солнечной активности в геологическом прошлом. Тем не менее, может быть полезно изложить определенные возможности в качестве стимула для дальнейших исследований. Например, было высказано предположение, что метеоритные тела могли упасть на солнце и вызвать его внезапную вспышку, так сказать. Это не является невозможным, хотя, по-видимому, этого не происходило с тех пор, как люди стали достаточно развитыми, чтобы проводить тщательные наблюдения. Более того, метеориты, которые сейчас падают на землю, чрезвычайно малы, их средний размер оценивается как не более пылинки зернышка. Самый крупный из когда-либо найденных на поверхности земли метеоритов, в Бакубито в Мексике, весит всего около пятидесяти тонн, в то время как в горных породах следы метеоритов чрезвычайно скудны и незначительны. Если бы метеориты падали на солнце достаточно часто и были достаточно размера, чтобы вызывать колебания ледникового покрова и исторические пульсации климата, представляется весьма вероятным, что на земле было бы гораздо больше свидетельств подобных возмущений. И даже если бы солнце подверглось бомбардировке крупными метеоритами, результатом, вероятно, были бы не внезапные периоды похолодания, которые являются наиболее заметными явлениями в климатической истории земли, а внезапные периоды потепления, за которыми следует медленное похолодание. Тем не менее, возмущение солнца в результате столкновения с метеоритным веществом ни в коем случае нельзя исключать как возможную причину климатических изменений.

С предыдущей гипотезой связана [небулярная гипотеза Шепли^{\[116\]}](#). С частыми интервалами, в среднем примерно раз в год в течение последних тридцати лет, астрономы открывали так называемые новые звезды. Это звезды, которые ранее были слабыми или даже невидимыми, но которые внезапно вспыхивают ярким светом. Часто их светоотдающая сила возрастает в семь или восемь раз - в тысячу раз. В дополнение к впечатляющим новым звездам существует множество нерегулярных переменных, яркость которых изменяется в каждом соотношении от нескольких процентов до нескольких величин. Большинство из них расположены в непосредственной близости от туманностей, как и в случае с новыми. Это, а также другие факты, делают вероятным, что все эти звезды являются "переменными трения", как называет их Шепли. Очевидно, что, проходя через туманности, они вступают в контакт с их чрезвычайно рассеянным веществом и, таким образом, становятся яркими, во многом как земля стала бы яркой, если бы ее атмосфера была заполнена миллионами почти бесконечно малых метеоритов. Звезда также может потерять яркость, если между ней и наблюдателем встанет туманная материя. Если наше солнце подверглось какому-либо из этих изменений, должно было произойти какое-то климатическое воздействие.

В личном сообщении Шепли следующим образом развивает климатическую гипотезу туманности:

В пределах 700 световых лет от солнца во многих направлениях (Телец, Лебедь, Змееносец, Скорпион) находятся большие рассеянные облака туманности, некоторые яркие, большинство темных. Вероятность того, что звезды, движущиеся в общей области таких облаков, столкнутся с этим материалом, очень высока, поскольку облака заполняют огромные объемы пространства, например, вероятно, более ста тысяч кубических световых

лет в области Ориона, и предположительно состоят из разреженных газов или частиц пыли. Вероятно, такая туманность существует во всей нашей части космоса (мы уверены, что она повсюду вокруг нас), но только в определенных областях она достаточно плотна, чтобы заметно влиять на участвующие в ней звезды. Если звезда, движущаяся с высокой скоростью, столкнется с плотной частью такого туманного облака, мы, вероятно, получим типичную новую звезду. Если бы относительная скорость туманного вещества и звезды была низкой или умеренной, или если бы вещество было редким, мы не должны были бы ожидать заметного влияния на свет звезды.

В туманной области Ориона, которая, вероятно, имеет необычно высокую плотность, насчитывается около 100 известных звезд, светимость которых варьируется от 20% до 80% от их общего количества, и все они нерегулярны — некоторые медленно, некоторые внезапно. Очевидно, это "переменные трения". Некоторые из переменных внезапно теряют 40% своего света, как будто их закрывает туманная материя. В Трехгранной туманности есть переменные, подобные туманности Ориона, также в Мессье 8, и, вероятно, многие из примерно 100 в районе Ро Змееносца принадлежат к этому типу.

Я считаю, что наше солнце не могло быть типичной новой звездой, по крайней мере, со времен археозоя, то есть, возможно, в течение миллиарда лет. Я полагаю, что у нас есть окончательное доказательство этого в области геологического климата, потому что увеличение количества солнечной радиации в 1000 раз по сравнению с типичной новой звездой, безусловно, подчеркнуло бы жизненный цикл на земле, даже если причина новой звезды не уничтожила бы в то же время меньшие планеты. Но солнце, возможно, было одной из этих миниатюрных новых, или переменных трения; и я считаю весьма вероятным, что его блуждания в этой части космоса не могли надолго оставить его среднюю температуру неизменной хотя бы на несколько процентов.

Одна из причин, по которой мы не настаивали на этом предложении раньше, заключается в том, что данные, лежащие в его основе, в основном новые — переменные Ориона были обнаружены и изучены совсем недавно, распределение и содержание темных туманностей едва ли пока широко известны.

Эту интересную гипотезу нельзя поспешно отвергать. Если солнце пройдет через туманность, кажется неизбежным, что возникнут по крайней мере незначительные климатические эффекты и, возможно, катастрофические последствия из-за воздействия газообразного вещества не только на солнце, но и на собственную атмосферу Земли. Однако в качестве объяснения общих климатических условий прошлого Шепли указывает, что гипотеза имеет то возражение, что она расплывчата, и что туманность не следует рассматривать как нечто большее, чем "возможный фактор". Одной из главных трудностей, по-видимому, является чрезвычайно широкое распространение пока еще неоткрытой туманной материи, которое должно быть допущено, если можно приписать такой материи какую-либо значительную долю повторяющихся климатических изменений Земли. Если такой материи действительно много в космосе, то трудно представить, как могли бы быть видны какие-либо другие звезды, кроме ближайших. Другое возражение состоит в том, что поблизости нет известной туманности, с которой можно было бы связать климатические перипетии последнего ледникового периода. Более того, известных туманностей настолько меньше, чем звезд, что шансы на то, что солнце столкнется с одной из них, крайне малы. Это, однако, не является возражением, поскольку Шепли указывает, что в геологические времена солнце никогда не могло изменяться так сильно, как это делают

новые звезды, или даже как большинство переменных течения. Таким образом, гипотеза заслуживает исследования, но она не может быть окончательно отвергнута или принята до тех пор, пока не станет более определенной и пока не будет доступно больше информации.

Другой предполагаемой причиной вариаций солнечной активности является относительно внезапное сжатие солнца, подобное тому, которое иногда происходит на земле, когда поднимаются континенты и сдвигаются горы. Кажется невероятным, что это могло произойти в газообразном теле, подобном солнцу. При отсутствии какой-либо твердой коры, которая сопротивляется изменению формы, солнце, вероятно, постоянно сжимается. Следовательно, любые вызванные таким образом климатические эффекты должны быть чрезвычайно постепенными и неуклонно развиваться в одном направлении в течение миллионов лет.

Еще одно предположение состоит в том, что приливное воздействие звезд и других тел, которые могут случайно приблизиться к пути солнца, может вызвать возмущения солнечной атмосферы. Огромный калейдоскоп космоса никогда не бывает спокоен. Солнце, звезды и все другие небесные тела движутся, часто с огромной скоростью. Следовательно, воздействие гравитации на солнце должно изменяться постоянно и нерегулярно, как и подобает геологическим требованиям. Однако в случае с планетами приливный эффект, по-видимому, не способен вызвать движения солнечной атмосферы, которые, по-видимому, связаны с появлением солнечных пятен. Более того, существует лишь самая отдаленная вероятность того, что звезда и солнце приблизятся друг к другу достаточно близко, чтобы вызвать выраженное гравитационное возмущение в солнечной атмосфере. Например, если предположить, что изменения в приливном воздействии Юпитера на солнце являются основным фактором регулирования нынешней разницы между максимумами и минимумами солнечных пятен, то вероятность того, что звезда или какое-либо несветящееся тело аналогичной массы приблизится достаточно близко, чтобы стимулировать солнечную активность и тем самым вызвать оледенение, составляет всего один шанс на двенадцать миллиардов лет, как будет объяснено ниже. Это, по-видимому, делает невозможной гравитационную гипотезу.

Другой возможной причиной возмущений на Солнце является то, что звезды в своем полете в космосе могут оказывать электрическое воздействие, которое нарушает равновесие солнечной атмосферы. На первый взгляд это кажется еще более невозможным, чем гравитационный эффект. Однако электростатические эффекты сильно отличаются от эффектов приливов. Они изменяются как диаметр тела, а не как его масса; их различия также изменяются обратно пропорционально квадрату расстояния, а не кубу. Электростатические эффекты также возрастают в четвертой степени от температуры или, по крайней мере, были бы таковыми, если бы они следовали закону черных тел; они стимулируются приближением одного тела к другому; и они являются кумулятивными, поскольку, если ионы поступают из космоса, они должны накапливаться до тех пор, пока тело, к которому они попали, не начнет их разряжать. Следовательно, на основе допущений, подобных тем, которые использовались в предыдущем параграфе, вероятность электрического возмущения солнечной атмосферы, достаточного для того, чтобы вызвать оледенение на земле, может достигать одного случая в двадцать или тридцать миллионов лет. Это, по-видимому, ставит электрическую гипотезу в рамки возможного. Дальше этого мы сейчас идти не можем. Могут быть и другие гипотезы, которые гораздо лучше соответствуют фактам, но, похоже, ни одна из них еще не была предложена.

В оставшейся части этой главы будут подробно рассмотрены приливная и электрическая гипотезы воздействия звезд на Солнце. Гипотеза о приливах рассматривается потому, что в дискуссиях о влиянии планет она до сих пор занимала почти все поле зрения. Электрическая гипотеза будет рассмотрена, поскольку она представляется наилучшей из всех предложенных, хотя все еще кажется сомнительным, могут ли электрические эффекты иметь заметное значение на таких огромных расстояниях, которые неизбежно связаны с ними. Обсуждение обеих гипотез обязательно будет носить несколько технический характер и понравится астроному больше, чем неспециалисту. Это не является необходимой частью данной книги, поскольку не имеет отношения к нашему главному тезису о влиянии солнца на землю. Это приведено здесь потому, что в конечном счете необходимо столкнуться с вопросом об изменениях солнечной активности в геологические периоды.

В астрономической части следующего обсуждения мы последуем за Джинсом^[117] в его замечательной попытке математического анализа движений Вселенной. Джинс делит небесные тела на пять основных типов. (1) Спиральные туманности, которые, как полагают некоторые астрономы, являются системами, подобными нашей, находящейся в процессе становления, а другие - независимыми вселенными, лежащими на огромных расстояниях за пределами нашей Галактической вселенной, как ее называют от названия Галактики или Млечного Пути. (2) Туманности меньшего типа, называемые планетарными. Они находятся в галактической части Вселенной и, по-видимому, являются ранними стадиями того, что когда-нибудь может стать звездами или солнечными системами. (3) Двойные или кратные звезды, которых необычайно много. В некоторых частях неба они образуют 50 или даже 60 процентов звезд, а в галактике в целом они, по-видимому, образуют "не менее трети". (4) Звездные скопления. Они состоят примерно из ста групп звезд, в каждой из которых звезды движутся вместе в одном направлении с примерно одинаковой скоростью. Некоторые астрономы полагают, что они, как и спиральные туманности, находятся за пределами галактики, но это далеко не точно. (5) Солнечная система. По словам Джинса, это кажется уникальным. Это не вписывается в общую математическую теорию, с помощью которой он объясняет спиральные туманности, планетарные туманности, двойные звезды и звездные скопления. Это, по-видимому, требует особого объяснения, например, приливного нарушения из-за прохождения солнца близко к другой звезде.

Часть работы Джинса, которая нас особенно интересует, - это его исследование вероятности того, что какая-то другая звезда приблизится к солнцу достаточно близко, чтобы оказать заметное гравитационное или электрическое воздействие и, таким образом, вызвать возмущения в солнечной атмосфере. Конечно, и звезда, и солнце движутся, но, чтобы избежать околичностей, мы будем говорить о таких взаимных сближениях просто как о приближениях солнца. Для нашей настоящей цели наиболее фундаментальный факт можно резюмировать цитатой из Джинса, в которой он говорит, что большинство звезд "демонстрируют признаки того, что они испытали значительное возмущение со стороны других систем; нет никаких причин, по которым следует ожидать, что наша солнечная система избежала общей участи". Джинс приводит тщательный расчет, из которого можно получить некоторое представление о вероятности любой заданной степени приближения Солнца и какой-либо другой звезды. Конечно, все подобные расчеты должны основываться на определенных допущениях. Допущения, сделанные Jeans, таковы, что вероятность сближения как можно выше. Например, он допускает всего 560 миллионов лет для всей эволюции солнца, тогда как некоторые астрономы и геологи называли бы эту цифру в десять или более раз выше. Тем не менее,

предположения Джинса, по крайней мере, показывают порядок величины, который мы можем ожидать на основе разумных астрономических выводов.

Согласно планетарной гипотезе солнечных пятен, разница в воздействии Юпитера, когда он находится ближе всего и дальше всего от солнца, является основным фактором начала цикла солнечных пятен и, следовательно, соответствующего земного цикла. Климатическая разница между максимумами и минимумами солнечных пятен, измеряемая температурой, по-видимому, составляет по меньшей мере двадцатую, а возможно, и десятую часть разницы между климатом последней ледниковой эпохи и нынешним. Таким образом, мы можем предположить, что тело, создающее гравитационный или электрический фактор, в двадцать раз превышающий разницу в воздействии Юпитера на его максимальном и минимальном расстояниях от солнца, вызвало бы ледниковую эпоху, если бы эффект длился достаточно долго. Конечно, другие планеты сочетают свое влияние с влиянием Юпитера, но для простоты мы не будем принимать во внимание остальные. Разница между максимальным и минимальным приливным воздействием Юпитера на Солнце составляет 29 процентов от среднего воздействия планеты.

Соответствующая разница, согласно электрической гипотезе, составляет около 19%, поскольку электростатическое воздействие изменяется в квадрате расстояния, а не в кубе. Предположим, что тело, оказывающее в четыре раза большее приливное воздействие, чем нынешнее на Юпитер, и расположенное на среднем расстоянии Юпитера от солнца, нарушило бы солнечную атмосферу в двадцать раз сильнее, чем нынешняя разница между максимумами и минимумами солнечных пятен, и, таким образом, возможно, вызвало бы ледниковый период на земле.

На основе этого предположения наша первая задача состоит в том, чтобы оценить частоту, с которой звезда, видимая или темная, может приближаться к Солнцу достаточно близко, чтобы вызвать *приливный* эффект, в четыре раза превышающий эффект Юпитера. Количество видимых звезд известно или, по крайней мере, хорошо оценено. Что касается темных звезд, которые остыли, Аррениус полагал, что их в сто раз больше, чем ярких звезд; немногие астрономы верят, что их меньше чем в три-четыре раза. Доктор Шепли из Гарвардской обсерватории утверждает, что новое исследование вопроса предполагает, что восемь или десять, вероятно, являются максимальной цифрой. Давайте предположим, что девять - это правильно. Средняя видимая звезда, насколько можно судить, имеет массу примерно вдвое большую, чем у Солнца, или примерно в 2100 раз больше, чем у Юпитера. Расстояния до звезд измерялись в сотнях случаев, и, таким образом, мы можем оценить, сколько звезд, как видимых, так и невидимых, в среднем содержится в данном объеме пространства. Исходя из этого, Джинс подсчитал, что существует только один шанс за тридцать миллиардов лет приблизиться к видимой звезде на расстояние, в 2,8 раза превышающее расстояние Нептуна от солнца, то есть примерно на расстояние восьми миллиардов миль. Если мы включим невидимые звезды, то шансы вырастут до одного за три миллиарда лет. Однако для того, чтобы вызвать приливный эффект, в четыре раза превышающий приливный эффект Юпитера, средняя звезда должна была бы приблизиться к Солнцу примерно на расстояние четырех миллиардов миль, а вероятность этого составляет всего один шанс на двенадцать миллиардов лет. Возмущающая звезда находилась бы всего на 40 процентов дальше от Солнца, чем Нептун, и почти проходила бы в пределах солнечной системы.

Хотя Джинс утверждает, что частота взаимного сближения солнца и звезды, вероятно, в далеком прошлом была намного выше, чем в настоящее время, только что приведенные цифры мало подтверждают гипотезу о приливах. Фактически, они, по-видимому, отвергают это

решение суда. Следует помнить, что Джинс выдвинул предположения, которые дают такую высокую частоту встреч со звездами, которая согласуется с астрономическими фактами. Мы предположили, что на каждую яркую звезду приходится девять темных, что может быть либеральной оценкой. Кроме того, хотя мы предположили, что возмущение атмосферы Солнца, достаточное для того, чтобы вызвать ледниковый период, возникло бы в результате приливного эффекта, всего в двадцать раз превышающего разницу в воздействии Юпитера, когда он находится ближе всего к солнцу и дальше всего от него, в наших расчетах это число фактически сократилось до тринадцати. При всех этих благоприятных допущениях вероятность сближения звезды, подобного описанному здесь, в настоящее время составляет всего один шанс на двенадцать миллиардов лет. И все же в течение ста миллионов лет, согласно многим оценкам геологического времени, и почти наверняка в течение миллиарда, произошло по меньшей мере полдюжины оледенений.

Использование нами данных Джинса создает еще одну, не менее непреодолимую трудность для любой гипотезы о приливах. Четыре миллиарда миль - это очень небольшое расстояние в глазах астронома. На таком расстоянии звезда, вдвое превышающая размер Солнца, притягивала бы внешние планеты сильнее, чем само солнце, и могла бы захватить их в плен. Если бы звезда приблизилась к Солнцу на расстояние четырех миллиардов миль, ее влияние на искажение орбит всех планет было бы велико. Если бы это происходило достаточно часто, чтобы вызвать все известные геологам оледенения, орбиты планет были бы сильно эллиптическими, а не почти круглыми. Выдвинутые здесь соображения настолько сильно противоречат приливной гипотезе солнечных возмущений, что вряд ли стоит рассматривать ее дальше.

Теперь обратимся к электрической гипотезе. Здесь условия принципиально отличаются от условий приливной гипотезы. Во-первых, электростатический эффект тела не имеет ничего общего с его массой, но зависит от площади его поверхности; то есть он изменяется пропорционально квадрату радиуса. Во-вторых, эмиссия электронов изменяется экспоненциально. Если горячие светящиеся звезды следуют тому же закону, что и черные тела при более низких температурах, то эмиссия электронов, как и эмиссия других видов энергии, изменяется в четвертой степени от абсолютной температуры. Другими словами, предположим, что есть два черных тела, в остальном похожих, но одно с температурой 27°C или 300° по абсолютной шкале, а другое с температурой 600° по абсолютной шкале. Температура одного из них в два раза выше, чем у другого, но электростатический эффект будет в шестнадцать раз сильнее.^[118] В-третьих, количество электронов, достигающих данного тела, изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния, а не кубу, как в случае с силами, создающими приливы.

Чтобы использовать эти три принципа при расчете влияния звезд, мы должны знать диаметры, расстояния, температуру и количество звезд. Расстояния и их количество могут быть с уверенностью приняты такими, какие были указаны Джинсом в уже приведенных расчетах. Что касается диаметров, то сделанные к настоящему времени измерения звезд показывают, что средняя масса примерно вдвое больше массы Солнца. Средняя плотность, как вывел Шепли^[119] из движений двойных звезд, составляет примерно одну восьмую солнечной плотности. Это дало бы средний диаметр примерно в два с половиной раза больше диаметра Солнца. Для удобства предположим, что темных звезд в десять раз больше, чем ярких. Мы также предположим, что их диаметр вдвое меньше диаметра Солнца, поскольку, будучи холодными,

они должны быть относительно плотными, и что их температура такая же, как та, которую мы примем для Юпитера.

Что касается Юпитера, мы продолжим наше прежнее предположение о том, что тело, эффективность которого в четыре раза превышает эффективность этой планеты, что в данном случае означает вдвое больший радиус, могло бы вызвать оледенение солнца. Это привело бы примерно к двадцатикратному электростатическому эффекту, который сейчас, по-видимому, связан с разницей в максимальном и минимальном воздействии Юпитера. Необходимо также учитывать температуру Юпитера. Предполагается, что планета горячая, потому что ее плотность низкая, всего около 1,25 плотности воды. Тем не менее, он, вероятно, не светящийся, поскольку, как выразился Моултон^[120], тени на нем черные, а его луны не имеют никаких признаков освещения, кроме как от солнца. Следовательно, температура около 600 ° C, или приблизительно 900 ° по абсолютной шкале, представляется самой высокой, которую можно обоснованно присвоить холодному внешнему слою, из которого испускаются электроны. Что касается температуры солнца, то мы примем общепринятую оценку примерно в 6300 ° C по абсолютной шкале. Остальные звезды будут приниматься за одно и то же среднее значение, хотя, конечно, они сильно различаются.

Когда метод Джинса по вычислению вероятности взаимного сближения солнца и звезды применяется к приведенным выше предположениям, результаты выглядят так, как показано в таблице 5. Исходя из этого, темные звезды, по-видимому, не имеют большого значения с точки зрения электрической гипотезы. Даже при том, что их может быть в десять раз больше, чем ярких, по-видимому, есть только один шанс за 130 миллиардов лет, что одно из них приблизится к солнцу достаточно близко, чтобы вызвать предполагаемое возмущение солнечной атмосферы. С другой стороны, если бы все видимые звезды были размером с солнце и такими же горячими, как это тело, их электрический эффект был бы вчетверо больше, чем у нашей предполагаемой темной звезды из-за их размера, и в 2401 раз больше из-за их температуры, или примерно в 10 000 раз больше. При таких условиях теоретическая вероятность сближения, которое могло бы вызвать оледенение, составляет один шанс на 130 миллионов лет. Если средняя видимая звезда несколько холоднее Солнца и имеет радиус примерно в два с половиной раза больший, как это представляется фактом, шансы возрастают до одного к тридцати восьми миллионам лет. Небольшое и вполне разумное изменение наших предположений сократило бы эту последнюю цифру всего до пяти или десяти миллионов. Например, средняя температура земли в ледниковый период предполагалась на 10 ° C ниже, чем сейчас, но разница могла составлять всего 6 ° C. Опять же, температура внешней атмосферы Юпитера, где выбрасываются электроны, может составлять всего 500 ° или 700 ° абсолютного значения вместо 900 °. Или диаметр средней звезды может быть в пять или десять раз больше диаметра Солнца, вместо того, чтобы быть всего в два с половиной раза больше. Всем этим, однако, пока можно пренебречь. Существенный момент заключается в том, что даже когда допущения ошибочны в сторону консерватизма, результаты имеют порядок величины, который ставит электрическую гипотезу в рамки возможного, тогда как аналогичные допущения выводят гипотезу приливов с ее единственным подходом за двенадцать миллиардов лет далеко за эти пределы.

Интересны цифры по Бетельгейзе, приведенные в таблице 5. На заседании Американской ассоциации содействия развитию науки в декабре 1920 года Майкельсон сообщил, что путем измерений интерференции света, исходящего с двух сторон от этой яркой звезды в Орионе,

наблюдатели на горе Уилсон подтвердили недавние оценки трех других авторитетных источников о том, что диаметр звезды составляет около 218 миллионов миль, или в 250 раз больше диаметра Солнца. Если другие звезды настолько превосходят оценки всего лишь десятилетней или двухлетней давности, средний диаметр всех видимых звезд должен во много раз превышать диаметр солнца. Низкое значение для Бетельгейзе в разделе D таблицы означает, что если бы все звезды были такими же большими, как Бетельгейзе, некоторые из них часто могли бы находиться достаточно близко, чтобы вызвать сильные возмущения солнечной атмосферы. Тем не менее, из-за низкой температуры гигантских красных звезд типа Бетельгейзе расстояние, на котором одна из них произвела бы данный электрический эффект, всего примерно в пять раз превышает расстояние, на котором наша предполагаемая средняя звезда произвела бы тот же эффект. Это, конечно, делается в предположении, что излучение энергии от раскаленных тел изменяется в зависимости от температуры в том же соотношении, что и излучение от черных тел. Даже если это предположение несколько отклоняется от истины, все равно кажется почти несомненным, что более низкая температура красных по сравнению с высокой температурой белых звезд должна в значительной степени уменьшать разницу в электрическом эффекте, которая в противном случае возникла бы из-за их размера.

ТАБЛИЦА 5

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ВЕРОЯТНОСТЬ СБЛИЖЕНИЯ ЗВЕЗД

	1	2	3	4
	<i>Темные звезды</i>	<i>Солнце</i>	<i>Средняя звезда</i>	<i>Бетельгейзе</i>
A. Приблизительны й радиус в милях.	430,000	860,000	2,150,000	218,000,000
B. Предполагаемая температура выше абсолютного нуля.	900 ° C.	6300 ° C.	5400 ° C.	3150 ° C.
C. Приблизительно е теоретическое расстояние, на котором звезда могла бы вызвать возмущение солнечной активности, достаточно сильное, чтобы вызвать оледенение (миллиарды ^[121] миль).	1.2	120	220	3200

D. Средний интервал между сближениями достаточно велик, чтобы вызвать оледенение, если бы все звезды были данного типа. Лет.	130 000 000 000 ^[122]	130 000 000	38 000 000	700 000
--	-------------------------------------	-------------	------------	---------

До сих пор в нашей попытке оценить расстояние, на котором звезда может потревожить солнце настолько, чтобы вызвать оледенение на земле, мы рассматривали только размер и температуру звезды. Не принималась во внимание степень возмущения его атмосферы. Однако в случае с солнцем это, по-видимому, является одним из наиболее важных факторов. Магнитное поле солнечных пятен иногда в 50 или 100 раз сильнее, чем у солнца в целом. Напряженность магнитного поля, по-видимому, зависит от силы электрических токов в атмосфере Солнца. Но интенсивность солнечных пятен и, следовательно, электрических токов может зависеть от электрического воздействия Юпитера и других планет. Если мы применим аналогичную линию рассуждений к звездам, то сразу же зададимся вопросом, не может ли электрическая активность двойных звезд быть значительно выше, чем у изолированных звезд, подобных солнцу.

Если этот ход рассуждений верен, атмосфера каждой двойной звезды должна находиться в состоянии волнения, значительно превышающем состояние атмосферы Солнца, даже когда она наиболее возмущена. Например, предположим, что солнце сопровождалось спутником такого же размера на расстоянии миллиона миль, что делало бы его очень похожим на многие известные двойные звезды. Предположим также, что в соответствии с общими законами физики электрическое воздействие двух солнц друг на друга пропорционально четвертой степени температуры, квадрату радиуса и обратному квадрату расстояния. Тогда воздействие каждого солнца на другое было бы в шестьдесят миллиардов (6×10^{10}) раз больше, чем нынешнее электрическое воздействие Юпитера на солнце. Что именно это означало бы относительно суммарного влияния пары таких солнц на электрический потенциал других тел на расстоянии, мы можем только догадываться. Выдающимся фактом является то, что электрические условия двойной звезды должны радикально отличаться и быть значительно более интенсивными, чем у одиночной звезды, подобной солнцу.

Этот вывод влечет за собой серьезные последствия. В настоящее время известно, что двадцать или более звезд расположены на расстоянии около 100 триллионов миль от Солнца (пять парсеков, как говорят астрономы), или 16,5 световых лет. Согласно предположениям, использованным в таблице 5, средняя одиночная звезда оказала бы на солнце достаточное влияние, чтобы вызвать оледенение, если бы приблизилась примерно на 200 миллиардов миль. Однако, если бы звезда была двойной, ее электрическая мощность могла бы быть намного больше, чем у солнца. Тогда она была бы способна вызывать оледенение на соответственно большом расстоянии. Сегодня Альфа Центавра, ближайшая известная звезда, находится примерно в двадцати пяти триллионах миль, или в 4,3 световых годах от Солнца, а Сириус,

самая яркая звезда на небе, находится примерно в пятидесяти триллионах миль, или в 8,5 световых годах. Если бы эти звезды были одиночными и имели диаметр, в три раза превышающий диаметр Солнца, и если бы они имели ту же температуру, что и предполагаемая для Бетельгейзе, которая примерно в пятьдесят раз дальше Альфы Центавра, относительное воздействие трех звезд на солнце было бы, приблизительно, Бетельгейзе 700, Альфа Центавра 250, Сириус 1. Но Альфа Центавра тройная, а Сириус двойной, и оба они намного горячее Бетельгейзе. Следовательно, Альфа Центавра и даже Сириус могут быть гораздо более эффективными, чем Бетельгейзе.

Два основных компонента Альфы Центавра разделены средним расстоянием около 2 200 000 000 миль, или несколько меньшим, чем расстояние Нептуна от Солнца. Третья, гораздо более слабая звезда, одна из самых слабых, когда-либо измеренных, вращается вокруг них на большом расстоянии. По массе и яркости два основных компонента примерно равны солнцу, и мы предположим, что то же самое верно и в отношении их радиуса. Тогда, согласно сделанным выше предположениям, их электрическое воздействие друг на друга было бы примерно в 10 000 раз больше суммарного воздействия Юпитера на Солнце, или в 2500 раз больше эффекта, который, как мы предполагали, необходим для наступления ледникового периода. Из таблицы 5 мы уже видели, что, согласно нашим предположениям, одиночная звезда, подобная Солнцу, должна была бы приблизиться к солнечной системе на расстояние в 120 миллиардов миль, или на расстояние в 2 процента светового года, чтобы вызвать оледенение. С помощью аналогичного процесса рассуждений выясняется, что если взаимное электрическое возбуждение двух основных частей Альфы Центавра, независимо от третьей части, пропорционально кажущемуся возбуждению солнца Юпитером, то Альфа Центавра была бы в 5000 раз эффективнее солнца. Другими словами, если бы оно приблизилось к Солнцу на расстояние 8 500 000 000 000 миль, или на 1,4 световых года, это настолько изменило бы электрические условия, что привело бы к ледниковой эпохе. В этом случае Альфа Центавра сейчас находится настолько близко, что создает возмущающий эффект, равный примерно одной шестой от эффекта, необходимого для того, чтобы вызвать оледенение на земле. Сириус и, возможно, другие более близкие и яркие или более крупные звезды также могут создавать заметные нарушения электрического состояния атмосферы Солнца, и, возможно, делали это в гораздо большей степени в прошлом или им суждено делать это в будущем. Таким образом, электрическая гипотеза солнечных возмущений, по-видимому, указывает на то, что положение солнца относительно других звезд может быть фактором, имеющим большое значение для определения климата Земли.

ГЛАВА XV

ПУТЕШЕСТВИЕ СОЛНЦА В КОСМОСЕ

Получив некоторое представление об электрической природе гипотезы солнечных возмущений и о возможном воздействии других тел на атмосферу Солнца, давайте теперь сравним астрономические данные с данными геологии. Давайте рассмотрим пять основных моментов, которым геолог требует объяснения и которым должна соответствовать любая гипотеза, если мы хотим, чтобы она была принята навсегда. Это (1) неравномерные интервалы, с которыми наступают ледниковые периоды; (2) разделение ледниковых периодов на эпохи, разделенные

иногда сотнями тысяч лет; (3) продолжительность ледниковых периодов и эпох; (4) возникновение ледниковых стадий и исторических пульсаций в виде небольших климатических волн, накладывающихся на более крупные волны ледниковых эпох; (5) возникновение климатических условий, гораздо более мягких, чем современные, не только в средней части великих геологических эпох, но даже в некоторых недавних межледниковых периодах. эпохи.

1. Неравномерная продолжительность интервала от одной ледниковой эпохи до другой соответствует неравномерному распределению звезд. Если оледенение косвенно связано со звездными влияниями, эпохи могут приходиться близко друг к другу или находиться далеко друг от друга. Если бы средний интервал составлял десять миллионов лет, то один интервал мог бы составлять тридцать миллионов или больше, а следующий - только сто или двести тысяч. Согласно Шухерту, известные периоды ледникового или полуледникового климата были примерно следующими:

СПИСОК ЛЕДНИКОВЫХ ПЕРИОДОВ

1. Архезой.
(четверть геологического времени или, возможно, намного больше)
 - Неизвестны ледниковые периоды.
2. Протерозой.
(четверть геологического времени)
 - а. Древнейший известный ледниковый период у основания протерозоя в Канаде. Свидетельства широко распространены.
 - б. Индийский ледниковый период; время неизвестно.
 - с. Африканский ледниковый период; время неизвестно.
 - г. Оледенение в конце протерозоя в Австралии, Норвегии и Китае.
3. Палеозой.
(четверть геологического времени)
 - а. Поздний ордовик(?). Местный в Арктической Норвегии.
 - б. Силурийский. Местный на Аляске.
 - ок. ранний девон. Местный в Южной Африке.
 - г. Раннепермский период. Распространенный по всему миру и очень суровый.
4. Мезозой и кайнозой.
(четверть геологического времени)
 - а-б. Ничего определенно не определено в мезозое, хотя, по-видимому, были периоды похолодания (а) в позднем триасе и (б) в позднем мелу, по крайней мере, с локальным оледенением в раннем эоцене.
 - с. Тяжелый ледниковый период плейстоцена.

Эта таблица наводит на мысль об интересном исследовании. За последние несколько десятилетий возник большой интерес к древнему оледенению, и геологи тщательно исследовали породы всех возрастов на предмет признаков ледниковых отложений. Несмотря на то, что большие части земли покрыты отложениями, относящимися к мезозою и кайнозою, которые формируют последнюю четверть геологического времени, единственными признаками фактического оледенения являются признаки великого плейстоценового периода и несколько

локальных проявлений в конце мезозоя или начале кайнозоя. В конце триаса и начале юры климат, по-видимому, был суровым, хотя не было обнаружено никаких тиллитов, свидетельствующих оледенении. В предыдущей четверти, то есть в палеозое, пермское оледенение было более сильным, чем плейстоценовое, а девонское - более сильным, чем эоценовое, в то время как ордовикские свидетельства низкой температуры сильнее, чем те, что были в конце триаса. Ввиду того факта, что породы палеозойского возраста занимают гораздо меньшие площади, чем породы более позднего возраста, три палеозойских оледенения, по-видимому, указывают на относительную частоту оледенения. Возвращаясь к протерозою, удивительно обнаружить, что были обнаружены свидетельства двух высокоразвитых ледниковых периодов, а возможно, и четырех. Поскольку индийское и африканское оледенения протерозойского периода еще не датированы, мы не можем быть уверены, что они не относятся к той же дате, что и другие. Тем не менее, даже два - удивительное число, поскольку большинство протерозойских пород не только претерпели такие метаморфозы, что возможные свидетельства ледникового происхождения уничтожены, но и породы этого возраста занимают гораздо меньшие площади, чем породы палеозойского или, что еще важнее, мезозойского и кайнозойского возраста. Таким образом, данные за последние три четверти геологического времени свидетельствуют о том, что если бы горные породы всех возрастов были столь же многочисленны и их было бы так же легко изучать, как породы более поздних периодов, частота ледниковых периодов увеличивалась бы по мере продвижения назад, к началу истории Земли. Это интересно, поскольку Джинс считает, что шансы на сближение звезд друг с другом, вероятно, были выше в прошлом, чем в настоящее время. Этот вывод основан на предположении, что наша вселенная подобна спиральным туманностям, в которых орбиты различных элементов на более ранних стадиях почти круглые. Джинс считает несомненным, что в таких случаях орбиты будут постепенно становиться больше и эллиптичнее из-за притяжения одного тела к другому. Таким образом, со временем звезды будут распределены более широко, и шансы на сближение будут уменьшаться. Если это верно, то согласие между астрономической теорией и геологическими выводами предполагает, что они, по крайней мере, не противоречат друг другу.

В этой связи следует учитывать первую четверть геологического времени, а также последние три. В течение археозоя еще не было обнаружено никаких свидетельств оледенения. Это говорит о том, что геологические факты опровергают астрономическую теорию. Но наши знания о ранних геологических временах крайне ограничены, настолько, что отсутствие свидетельств оледенения в археозое может не иметь значения. Археозойские породы были тщательно изучены на очень небольшом проценте земной поверхности. Более того, они сильно изменились, так что, даже если бы ледниковые разливы существовали, их было бы трудно распознать. В-третьих, согласно как туманной, так и планетезимальной гипотезам, представляется возможным, что на самых ранних этапах геологической истории недра земли были несколько теплее, чем сейчас, а поверхность, возможно, была прогрета сильнее, чем в настоящее время, за счет теплопроводности, потоков лавы и падения метеоритов. Если бы земля в течение археозойского периода выделяла достаточно тепла, чтобы повысить температуру своей поверхности на несколько градусов, это тепло не помешало бы развитию низших форм жизни, но могло бы эффективно предотвратить любое оледенение. Это не означает, что это предотвратило бы изменения климата, но просто изменения настолько экстремальные, что их летопись была бы сохранена с помощью льда. Будет очень интересно посмотреть, укажут ли будущие исследования в геологии и астрономии либо на

полуоднородное распределение ледниковых периодов на протяжении прошлого, либо на более или менее регулярное уменьшение частоты с древних времен вплоть до настоящего.

2. Плейстоценовый ледниковый период был разделен по меньшей мере на четыре эпохи, в то время как в пермском периоде по меньшей мере одна межледниковая эпоха представляется несомненной, а в некоторых местах чередование ледниковых и неледниковых слоев предполагает не менее девяти. В отношении других оледенений доказательства пока неясны. Вопрос о периодичности настолько важен, что опровергает большинство ледниковых гипотез. Действительно, если бы их авторы знали факты, установленные в последние годы, большинство гипотез никогда бы не были выдвинуты. Гипотеза об углекислом газе - единственная, которая была сформулирована с учетом геологически быстрых климатических изменений. Он, безусловно, объясняет факты периодичности лучше, чем любой из его предшественников, но даже в этом случае он не объясняет того, каким образом вариации всех степеней, от изменений погоды до ледниковых эпох, переходят друг в друга.

Согласно нашей звездной гипотезе, можно было бы ожидать, что случайные группы ледниковых эпох происходили близко друг к другу и образовывали длительные ледниковые периоды. Это происходит потому, что многие звезды принадлежат к группам или скоплениям, в которых звезды движутся по параллельным траекториям. Хорошим примером является скопление в Гиадах, где Босс с особой тщательностью изучил тридцать девять звезд.^[123] Звезды сгруппированы вокруг центра, расположенного примерно в 130 световых годах от Солнца. Сами звезды рассеяны на площади около тридцати световых лет в диаметре. В среднем они находятся примерно на том же расстоянии друг от друга, что и те, что ближе к Солнцу, но по направлению к центру группы они несколько ближе друг к другу. Все тридцать девять движутся вперед по существу параллельными траекториями. Босс подсчитал, что 800 000 лет назад скопление находилось лишь в два раза дальше от Солнца, чем сейчас, но, вероятно, это было так же близко, как и в недавние геологические времена. Все тридцать девять звезд этого скопления, как выразился Моултон^[124], "дают гораздо больше света, чем солнце. Яркость даже пяти самых маленьких из них в пять-десять раз превышает солнечную, в то время как самые большие по светоотдающей силе в сто раз превосходят наше собственное светило. Их массы, вероятно, намного больше, чем у солнца". Если бы солнце проходило через такое скопление, сначала одна звезда, а затем другая могли бы подойти так близко, что вызвали бы сильное возмущение в атмосфере солнца.

3. Еще один важный момент, из-за которого гипотеза о ледниковом периоде может потерпеть неудачу, - это продолжительность периодов или, скорее, эпох, составляющих эти периоды. В течение последнего, или плейстоценового, ледникового периода данные, полученные в Америке и Европе, указывают на то, что межледниковые эпохи различались по продолжительности и что более поздние были короче более ранних. Чемберлин и Солсбери, основываясь на сравнении различных источников, подсчитали, что интервалы от одной ледниковой эпохи до другой образуют убывающий ряд, который может быть грубо выражен следующим образом: 16-8-4-2-1, где единица представляет собой интервал от кульминации позднего Висконсина, или последней ледниковой эпохи, до настоящего времени. Большинство авторитетных источников оценивают кульминацию позднего висконсинского оледенения как произошедшую двадцать или тридцать тысяч лет назад. Пенк оценивает продолжительность последнего межледникового периода в 60 000 лет, а предыдущего - в 240 000.^[125] Р. Т. Чемберлин, как уже говорилось, считает, что общее мнение заключается в том, что

межледниковые эпохи в среднем в пять раз длиннее ледниковых. Фактическая продолжительность различных оледенений, вероятно, различалась не так сильно, как интервалы от одного оледенения до другого. Однако главное - неравномерность различных периодов.

Связь гипотезы звездного электричества с продолжительностью ледниковых эпох можно оценить по столбцу С в таблице 5. Здесь мы видим, что расстояния, на которых звезда может потревожить солнце настолько, чтобы вызвать оледенение, варьируются от 120 миллиардов миль в случае такой маленькой звезды, как солнце, до 3200 миллиардов миль в случае Бетельгейзе, в то время как для двойных звезд эта цифра может быть в сто раз выше. Исходя из этого, мы можем рассчитать, сколько времени потребуется звезде, чтобы пройти путь от точки, где ее влияние сначала составило бы четверть предполагаемого максимума, до аналогичной точки по другую сторону солнца. Производя эти расчеты, мы предположим, что относительная скорость, с которой звезда и солнце приближаются друг к другу, составляет около двадцати двух миль в секунду, или 700 миллионов миль в год, что является средней скоростью движения всех известных звезд. В соответствии с расстояниями, приведенными в таблице 5, это дает диапазон от примерно 500 лет до примерно 10 000, который может возрасти до миллиона в случае двойных звезд. Конечно, это время могло быть относительно коротким, если солнце и быстро движущаяся звезда приближались друг к другу почти вплотную, или чрезвычайно долгим, если солнце и звезда двигались почти в одном направлении и с примерно одинаковыми скоростями, — состояние, более распространенное, чем другое. Здесь, как и во многих других случаях, существенным моментом является то, что цифры, которые мы таким образом получаем, кажутся подходящего порядка величины.

4. Послеледниковые климатические стадии настолько хорошо известны, что в Европе у них есть определенные названия. Их последовательность уже обсуждалась в главе XII. Окаменелости, найденные в торфяных болотах Дании и Скандинавии, например, доказывают, что с момента окончательного исчезновения континентальной ледяной шапки в конце реки Висконсин был по крайней мере один период, когда климат Европы был заметно мягче, чем сейчас.

Непосредственно над пластами ледникового покрова, образованными льдом, произрастает флора, соответствующая нынешней тундре. Далее идут остатки лесной растительности, в которой преобладают березы и тополя, свидетельствующие о том, что климат становился немного теплее. В-третьих, следуют свидетельства еще более благоприятного климата в виде лесов, в которых преобладают сосны; в-четвертых, лесов, в которых преобладает дуб; и, в-пятых, флоры, сходной с флорой Шварцвальда в Германии, указывающей на то, что в Скандинавии температура тогда была значительно выше, чем сегодня. Эта пятая флора снова отступила на юг, будучи оттесненной обратно на свою нынешнюю широту небольшим возвращением прохладного штормового климата.^[126] В центральной Азии свидетельства послеледниковых стадий обнаружены не только в пяти отдельных моренах, но и в соответствующей серии возвышенных полос, окружающих соленые озера, и на речных террасах в незамерзающих засушливых регионах.^[127]

Как мы уже видели, как в исторические, так и в доисторические времена имели место климатические колебания. Например, двенадцатый или тринадцатый века до нашей эры, по-видимому, были почти такими же мягкими, как сейчас, как и седьмой век до нашей эры, с другой стороны, около 1000 года до нашей эры, во времена Христа, а в четырнадцатом веке были времена относительной суровости. Таким образом, оказывается, что как в большом, так и

в малом масштабе пульсации климата являются правилом. Любая гипотеза климатических изменений должна удовлетворять периодам этих пульсаций. Эти условия создают проблему, которая затрудняет почти все гипотезы изменения климата. Согласно настоящей гипотезе, движения Земли, подобные тем, которые обсуждаются в главе XII, могут быть вызваны двумя астрономическими факторами. Во-первых, это постоянное изменение положения звезд, изменение, которое мы уже называли калейдоскопическим, а во-вторых, тот факт, что большая часть звезд двойные или кратные. Когда одна звезда в группе приближается к солнцу достаточно близко, чтобы вызвать сильное возмущение на солнце, множество других могут приблизиться или удалиться, оказывая незначительный эффект. Таким образом, всякий раз, когда солнце находится вблизи групп звезд, мы должны ожидать, что на земле будет наблюдаться множество незначительных климатических пульсаций и стадий, которые могут быть связаны, а могут и не быть связаны с оледенением. Исторические пульсации, показанные на кривой роста деревьев в Калифорнии, рис. 4, представляют собой изменения, которые можно было бы ожидать, если бы движение звезд оказывало влияние на атмосферу Солнца.

Как мы уже видели, не только треть всех видимых звезд двойные, но по крайней мере десятая часть из них, как известно, тройная или кратная. У многих двойных звезд два тела расположены близко друг к другу и вращаются так быстро, что любая периодичность, которую они могли бы создавать в атмосфере Солнца, была бы очень короткой. Однако в тройках третья звезда обычно находится по меньшей мере в десять раз дальше от двух других, чем они друг от друга, и период ее вращения иногда исчисляется сотнями или тысячами лет. Примером может служить реальная кратная звезда в созвездии Полярной звезды. Джинс считает, что главная звезда состоит из двух частей, которые почти соприкасаются и вращаются друг вокруг друга с необычайной скоростью в течение четырех дней. Если это правда, они должны поддерживать атмосферу друг друга в состоянии сильного волнения. Гораздо дальше третья звезда обращается вокруг этой пары за двенадцать лет. На гораздо большем расстоянии четвертая звезда обращается вокруг общего центра тяжести себя и трех других за период, который может составлять 20 000 лет. Вероятно, существуют еще более сложные случаи. Предположим, что такая система прошла бы путь, по которому она оказывала бы ощутимое влияние на солнце в течение тридцати или сорока тысяч лет. Различные движения его членов произвели бы сложную серию циклов, которые могли бы демонстрировать всевозможные крупные и незначительные вариации в продолжительности и интенсивности. Таким образом, разнообразные и нерегулярные стадии оледенения и пульсации исторических периодов могут быть объяснены гипотезой близости Солнца к кратной звезде, а также гипотезой менее выраженного приближения и удаления ряда звезд. В дополнение ко всему этому, почти бесконечно сложная серия климатических изменений большой и короткой продолжительности могла бы возникнуть, если бы солнце проходило через туманность.

5. В главе VIII мы видели, что контраст между несколько суровым климатом настоящего и в целом мягким климатом прошлого является одной из величайших геологических проблем. Ледниковый период не ушел в далекое прошлое. Геологи в целом признают, что он все еще с нами. Гренландия и Антарктида покрыты ледяными покровами в широтах, где ископаемая флора доказывает, что в другие периоды климат был таким же мягким, как в Англии или даже Новой Зеландии. Следует отметить, что нынешние оледенелые регионы находятся на полярных границах двух наиболее штормовых океанических областей мира, как раз там, где лед, как ожидается, продержится дольше всего в соответствии с гипотезой солнечного цикла. В отличие от нынешних полуледниковых условий, последняя межледниковая эпоха была

настолько мягкой, что в центральной Европе процветали не только люди, но и слоны и гиппопотамы, в то время как в более ранние времена, в середине длительных эпох, таких как палеозой и мезозой, кораллы, саговники и древовидные папоротники процветали за полярным кругом.

Если электрозвездная гипотеза солнечных возмущений окажется хорошо обоснованной, она может объяснить эти особенности. Периоды мягкого климата означали бы возвращение солнца и земли к их нормальным спокойным условиям. Предполагается, что в такие моменты атмосфера солнца мало нарушается солнечными пятнами, факулами, протуберанцами и другими подобными признаками движения; и структура рисовых зерен, возможно, является наиболее заметной из солнечных отметин. Предполагается, что Земля в такое время соответственно свободна от циклонических штормов. В этом случае ее ветры в основном чисто планетарного типа, такие как пассаты и западные направления. Количество осадков в нем также носит в основном планетарный, а не циклонический характер. Он выпадает в таких местах, как тепловой экватор, где воздух поднимается под воздействием тепла, или на наветренных склонах гор, или в регионах, где теплые ветры дуют с океана над холодными землями.

Согласно электрозвездной гипотезе, условия, которые преобладали в течение сотен миллионов лет мягкого климата, означают просто, что Солнечная система находилась тогда в тех частях неба, где звезды — особенно двойные — были редкими или маленькими, а электрические возмущения соответственно слабыми. С другой стороны, сегодня солнце находится довольно близко к ряду звезд, многие из которых являются большими двойными. Следовательно, предполагается, что она была нарушена, хотя и не так сильно, как в разгар последней ледниковой эпохи.

После того, как были написаны предыдущие части этой книги, помощь доктора Шлезингера позволила проверить электрозвездную гипотезу путем сравнения фактических астрономических дат с датами климатических или солнечных явлений. Чтобы сделать это возможным, доктор Шлезингер и его помощники подготовили таблицу 6, в которой указаны положение, звездная величина и движения тридцати восьми ближайших звезд, и особенно даты, когда каждая из них была ближайшей к солнцу. В столбце 10, где указаны даты, знак "минус" указывает на прошлое, а знак "плюс" - на будущее. Доктор Шепли любезно добавил столбец 12, в котором указаны абсолютные величины звезд, величина Солнца равна 4,8, и столбец 13, показывающий их светимость или абсолютное излучение, величина солнца равна единице. Наконец, в столбце 14 показано эффективное излучение, получаемое солнцем от каждой звезды, когда звезда находится на минимальном расстоянии. Единица в данном случае - это влияние звезды, подобной солнцу, на расстоянии одного светового года.

Хорошо известно, что излучение всех видов, включая световое, тепловое и электрическое излучение, изменяется прямо пропорционально открытой поверхности, то есть пропорционально квадрату радиуса сферы, и обратно пропорционально квадрату расстояния. У черных тел, как мы видели, общее излучение изменяется в четвертой степени от абсолютной температуры. Нет уверенности в том, что световое или электрическое излучение от тел накаливания изменяется в совершенно одинаковой пропорции, и пока нет уверенности в том, что световое и электрическое излучение изменяются точно в одинаковой степени. Тем не менее они тесно связаны. Поскольку свет, исходящий от каждой звезды, точно измерен, в то время как

информация об электрическом излучении отсутствует, мы последовали предложению доктора Шепли и использовали светимость звезд как наилучший доступный показатель общего излучения. Предположительно, это приблизительный показатель электрической активности при условии, что будут сделаны некоторые поправки на возмущения со стороны внешних тел, таких как звезды-компаньоны. Отсюда включение столбца 14.

ТАБЛИЦА 6

ТРИДЦАТЬ ВОСЕМЬ ЗВЕЗД, ИМЕЮЩИХ НАИБОЛЬШИЕ ИЗВЕСТНЫЕ ПАРАЛЛАКСЫ

	(1), Прямое восхождение 1900	(2), Склонение 1900	(3), Визуальная мagnitude	(4), Спектральный класс	(5), Собственная движение по долготе	(6), Лучевая скорость в км/секунду.	(7) Текущий параллакс в угловых секундах.	(8) Максимальный параллакс в угловых секундах.	(9) Минимальный расстояние в световых годах.	(10) Время прохода ближе к Солнцу в минутах.	(11) Величина в дисковой системе.	(12) Абсолютная величина в звездной системе.	(13) Светимость относительно Солнца	(14) Эффективная температура
Група мбр а солнца. 34	0 ^h 12 ^m .7	+43° 27'	8.1	Ma	2".89	+ 3	".28	".28	11.6	- 4000	8.1	10.3	0.0063	0.000051
[128]η Cas siop	43 ^h .0	+57° 17'	3.6	клавиршус F8	1".24	+ 10	.18	.19	17.1	- 47000	3.5	4.9	0.91	0.003110
[128]κ Tuc anæ	43 ^h .9	+4° 55'	12.3	Ф0	3".01	.....	.24	....	....	.....	....	14.2	0.00017	.....
τ кита	39 ^h .4	-16° 28'	3.6	К0	1".92	- 16	.32	.37	8.8	+ 460	3.3	6.1	0.30	0.00384

										00				0
δ_2	3 15	-43	4.3	Г5	3	+ 87	.16	.22	14.8	-	3.6	5.3	0.63	0.00
Эри дан а	.9	27			.16					330 00				296 0
^[128] ε	28	- 9	3.8	K0	.97	+ 16	.31	.46	7.1	-	3.0	6.3	0.25	0.00
Эри дан а	.2	48								106 000				497 0
^[128] 4 0(0) ²	4 10	- 7	4.5	Г5	4	- 42	.21	.23	14.2	+	4.3	6.1	0.30	0.00
Эри дан а	.7	49			.08					190 00				147 0
Кор доб а 3. 243	5 7	-44	9.2	K2	8	+24 2	.32	.68	4.8	-	7.6	11.7	0.00	0.00
	.7	59			.75					100 00			17	007 4
Вай с	26	- 3	8.8	K2	2	.....	.17	....	....	.....	....	9.9	0.00	.....
592	.4	42			.22								9	.
^[128] α	6 40	-16	-1.6	A0	1	- 8	.37	.41	8.0	+	-1.8	1.2	27.5	0.42
мож ет. Май ор (Си риу с)	.7	35			.32					650 00			0	900 0
^[128] α	7 34	+ 5	0.5	Φ5	1	- 4	.31	.32	10.2	+	0.5	3.0	5.25	0.05
Мож ет. Мин . (Пр оци он)	.1	29			.24					340 00				130 0
^[128] Φ	9 7	+53	7.9	MA	1	+ 10	.16	.16	20.4	-	7.9	8.9	0.02	0.00
едо рен ко 145 7-8	.6	7			.68					240 00			3	005 5

Groomb r. 1618	105 .3	+49 58	6.8	K5p	1 .45	- 30	.18	.23	14.2	+ 690 00	6.3	8.1	0.04 8	0.00 023 8
Вайс 234	14 .2	+20 22	9.0	...	.49	.....	.19	....	....	.....	....	10.4	0.00 57	..... .
Лаланд 21185	57 .9	+36 38	7.6	M6	4 .78	- 87	.41	.76	4.3	+ 200 00	6.2	10.7	0.00 44	0.00 023 8
Лаланд 21258	110 .5	+44 2	8.5	K5	4 .52	+ 65	.19	.22	14.8	- 200 00	8.2	9.9	0.00 9	0.00 004 1
	12 .0	2 - 57	12.0	...	2 .69	.....	.34	....	....	..... .	...	14.7	0.00 011	..... .
Лаланд 25372	13 40 .7	+15 26	8.5	K5	2 .30	.....	.19	....	....	.....	....	9.9	0.00 9	..... .
[128]α Центавра	14 32 .8	-60 25	0.2	г	3 .68	+ 22	.76	1.03	3.2	- 280 00	-0.5	4.6	1.20	0.11 750 0
[128]ξ Волоса	14 46 .8	+19 31	4.6	K5p	.17	+ 4	.17	.22	14.8	- 598 000	4.0	5.8	0.40	0.00 181 5
[128]λ Алаңд 27173	51 .6	-20 58	5.8	КП	1 .96	+ 20	.18	.19	17.1	- 360 00	5.6	7.1	0.12	0.00 041 2
Вайс 1259	16 41 .4	+33 41	8.4	...	.37	.....	.18	....	....	.....	....	9.7	0.01 1	..... .
Lacaille 7194	17 11 .5	-46 32	5.7	к	.97	.....	.19	....	....	.....	....	7.1	0.12	..... .

[128]β 416	12 .1	-34 53	5.9	K5	1 .19	- 4	.17	.17	19.2	+ 210 00	5.7	7.1	0.12	0.00 032 9
Арг Эль - 0.17 415- 6	37 .0	+68 26	9.1	к	1 .33	.....	.22	....	....	.....	....	10.8	0.00 4	..... .
Зве зда Бар нар да	52 .9	+ 4 25	9.7	M6	10 .30	- 80	.53	.70	4.7	+ 100 00	9.1	13.3	0.00 25	0.00 011 4
[128]γ 0 пунк тов Ophi uchi	18 0 .4	+ 2 31	4.3	к	1 .13	.....	.19	....	....	.....	....	5.7	0.44	..... .
[128]Σ 239 8	41 .7	+59 29	8.8	к	2 .31	.....	.29	....	....	.....	....	11.1	0.00 30	..... .
σ Дра кон ис	19 32 .5	+69 29	4.8	Г5	1 .84	+ 26	.20	.23	14.2	- 490 00	4.5	6.3	0.25	0.00 123 8
[128]α Aqui læ (Аль таир)	45 .9	+ 8 36	1.2	A5	.66	- 33	.21	.51	6.4	+11 700 0	-0.7	2.8	6.30	0.15 360 0
[128]δ 1 Леб едя	21 2 .4	+38 15	5.6	K5	5 .20	- 64	.30	.38	8.6	+ 190 00	5.1	8.0	0.05 3	0.00 071 5
Laca ille 876 0	11 .4	-39 15	6.6	г	3 .53	+ 13	.25	.26	12.6	- 110 00	6.6	8.6	0.03 0	0.00 018 9
ε инд	55 .7	-57 12	4.8	K5	4 .70	- 39	.28	.31	10.5	+ 170	4.6	7.0	0.13	0.00 123

и										00			0	
[128]К	22	+57	9.2	...	.87	.....	.26	....	....	.....	....	11.3	0.00	.....
рюг	24	12											25	
ер	.4													
60														
Laca	59	-36	7.1	к	6	+ 12	.29	.29	11.2	-	7.1	9.4	0.01	0.00
ille	.4	26			.90					300			4	011
935										0				1
2														
Лал	23	+ 1	8.7	MA	1	.....	.17	....	....	.....	....	9.9	0.00	.....
анд	44	52			.39								9	
466	.0													
50														
С. Г.	59	-37	8.2	г	6	+ 26	.22	.22	14.8	-	8.2	9.9	0.00	0.00
A.	.5	51			.05					700			9	004
324										0				1
16														

На основе столбца 14 и данных о движении и расстояниях звезд, приведенных в других столбцах, был подготовлен рисунок 10. Это дает приблизительную оценку электрической энергии, полученной солнцем от ближайших звезд за 70 000 лет до и после настоящего времени. Она основана на двадцати шести звездах, полные данные по которым доступны в таблице 6. Включение остальных двенадцати не изменило бы форму кривой, поскольку даже самая большая из них изменила бы какую-либо часть не более чем примерно на половину 1 процента, если не на столько же. Также кривая не была бы заметно изменена из-за пропуска всех, кроме четырех, из двадцати шести фактически используемых звездочек. Четыре наиболее важных объекта и их относительная яркость при приближении к Солнцу: Сириус 429 000, Альтаир 153 000, Альфа Центавра 117 500 и Процион 51 300. Цифра для следующей звезды составляет всего 4970, в то время как для этой звезды в сочетании с другими двадцатью одной, которые не имеют значения, она составляет всего 24 850.

Рисунок 10 перенесен не более чем на 70 000 лет в прошлое или будущее, поскольку звезды, находящиеся вблизи Солнца в более отдаленные периоды времени, не включены в число тридцати восьми звезд, имеющих наибольшие известные параллаксы. То есть они либо отошли, либо еще недостаточно близко, чтобы их можно было включить. Действительно, как настойчиво подчеркивает доктор Шлезингер, могут существовать быстро движущиеся, яркие или гигантские звезды, которые сейчас находятся довольно далеко, но включение которых изменило бы рисунок 10 даже в пределах показанных там 140 000 лет. Однако почти наверняка максимум, что они могли бы сделать, - это поднять, но не стереть минимумы по обе стороны от основного максимума.

При подготовке рисунка 10 было необходимо сделать поправку на двойные звезды. Проходя мимо двадцати двух неважных звезд, оказывается, что спутник Сириуса на восемь или десять

звездных величин меньше этой звезды, в то время как спутники Прокциона и Альтаира на пять или более звездных величин меньше своих ярких товарищей. Это означает, что яркость слабых компонентов составляет не более 1 процента от яркости их ярких спутников, а в случае Сириуса - не более сотой доли 1 процента. Следовательно, их включение не оказало бы видимого влияния на рис. 10. С другой стороны, на Альфе Центавра эти два компонента имеют почти одинаковую величину. По этой причине эффективное излучение этой звезды, указанное в столбце 14, удваивается на рис. 10, в то время как по другой причине оно увеличивается еще больше. Другая причина заключается в том, что, если наши выводы относительно электрического воздействия солнца на землю и планет на солнце верны, двойные звезды, как мы видели, должны быть гораздо более эффективными в электрическом отношении, чем одиночные звезды. По тому же рассуждению две яркие звезды, расположенные близко друг к другу, должны возбуждать друг друга гораздо сильнее, чем яркая звезда и очень слабая, даже если расстояния в обоих случаях одинаковы. Точно так же, при прочих равных условиях, тройная звезда должна быть электрически возбуждена сильнее, чем двойная. Следовательно, при подготовке рис. 10 все двойные звезды получают двойной вес, а каждая часть Альфы Центавра получает дополнительные 50 процентов, потому что обе части яркие и потому что у них есть третий компаньон, который помогает им возбуждаться.

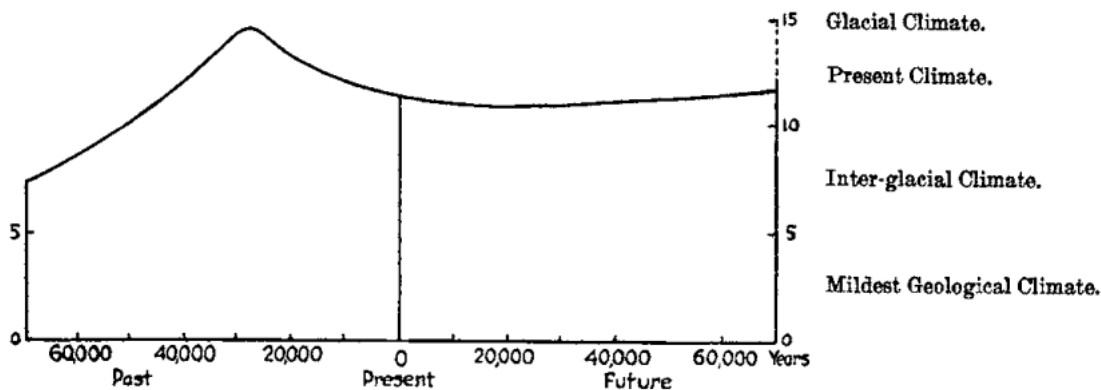


Рис. 10. Климатические изменения за 140 000 лет, судя по звездам.

Согласно электростарой гипотезе, Альфа Центавра имеет более важное климатическое значение, чем любая другая звезда на небе, не только потому, что она тройная и яркая, но и потому, что она ближайшая из всех звезд и движется довольно быстро. Сириус и Прокцион движутся относительно солнца медленно, всего около одиннадцати и восьми километров в секунду соответственно, и их минимальные расстояния довольно велики, то есть составляют 8 и 10,2 световых года. Следовательно, их влияние на солнце меняется медленно. Альтаир движется быстрее, примерно двадцать шесть километров в секунду, и его минимальное расстояние составляет 6,4 световых года, так что его влияние меняется довольно быстро. Альфа Центавра движется со скоростью около двадцати четырех километров в секунду, а ее минимальное расстояние составляет всего 3,2 световых года. Следовательно, его эффект меняется очень быстро, изменение его видимой яркости при наблюдении с солнца составляет максимум около 30% за 10 000 лет по сравнению с 14% для Альтаира, 4% для Сириуса и 2% для Прокциона. Подавляющее большинство звезд меняются настолько медленнее, чем даже Прокцион, что их воздействие почти однородно. Все звезды, находящиеся на расстоянии более двадцати-тридцати световых лет, можно рассматривать как излучающие к солнцу практически

неизменное количество излучения. Важны именно яркие звезды в пределах этого предела, и их важность возрастает с увеличением их близости, скорости движения, а также яркости и количества их спутников. Следовательно, Альфа Центавра вызывает основной максимум на рис. 10, в то время как Сириус, Альтаир и Процион в совокупности вызывают общий подъем кривой от прошлого к будущему.

Теперь давайте интерпретируем рис. 10 с геологической точки зрения. Низкое положение кривой пятьдесят-семьдесят тысяч лет назад предполагает мягкий межледниковый климат, явно менее суровый, чем нынешний. Геологи утверждают, что так оно и было. Кривая указывает на ледниковую эпоху, достигшую кульминации около 28 000 лет назад. Лучшие источники указывают на кульминацию последней ледниковой эпохи между двадцатью пятью и тридцатью тысячами лет назад. Кривая показывает улучшение климата с того времени, хотя и предполагает, что он все еще остается значительным по суровости. Отступление льда из Северной Америки и Европы и его сохранение в Гренландии и Антарктиде согласуются с этим. А кривая указывает на то, что изменение климата все еще продолжается, и этот вывод согласуется с данными об исторических изменениях.

Если Альфа Центавра действительно так важна, влияние ее вариаций, при условии, что они у нее есть, возможно, должно быть заметно на солнце. Активность атмосферы звезды, по-видимому, неодинакова, поскольку орбиты двух компонентов имеют эксцентриситет 0,51. Следовательно, за период их обращения, составляющий 81,2 года, расстояние между ними колеблется от 1 100 000 000 до 3 300 000 000 миль. Они были на минимальном расстоянии в 1388, 1459, 1550, 1631, 1713, 1794, 1875, и будут снова в 1956 году. На рис. 11, показывающем вариации солнечных пятен, заметно, что 1794 и 1875 годы приходятся как раз на конец периодов необычной солнечной активности, на что указывает жирная горизонтальная линия. Аналогичный период большой активности, по-видимому, начался примерно в 1914 году. Если его продолжительность равна средней для двух предыдущих, он закончится примерно в 1950 году. Еще в четырнадцатом веке период чрезмерной солнечной активности, который уже был описан, достиг кульминации с 1370 по 1385 год, или непосредственно перед тем, как две части Альфы Центавра оказались на минимальном расстоянии друг от друга. Таким образом, в трех или, возможно, четырех случаях солнце было необычайно активным в то время, когда две части звезды наиболее быстро сближались друг с другом и когда их атмосферы, по-видимому, были наиболее возмущенными, а электрические излучения - наиболее сильными.

Тот факт, что Альфа Центавра, звезда, которая, как ожидается, сильнее всего влияет на Солнце, а следовательно, и на Землю, была ближе всего к солнцу в кульминационный момент последней ледниковой эпохи, и что сегодня солнечная атмосфера наиболее активна, когда звезда предположительно испытывает наибольшее возмущение, может не иметь значения. Это дается за то, чего оно стоит. Его важность заключается не в том, что он что-либо доказывает, а в том, что никакого противоречия не обнаруживается, когда мы проверяем электроразветвленную гипотезу фактами, о которых не думали, когда выдвигали гипотезу. Все еще необходим огромный объем астрономической работы, прежде чем этот вопрос можно будет довести до какого-либо определенного завершения. В случае, если гипотеза подтвердится, возможно, удастся использовать звезды в качестве подспорья в определении точной хронологии более поздней части геологических времен. Если гипотеза будет опровергнута, это просто оставит вопрос о вариациях солнечной активности там, где он стоит сегодня. Это не повлияет на основные

выводы этой книги относительно причин и природы климатических изменений. Его ценность заключается в том, что он привлекает внимание к новым направлениям исследований.

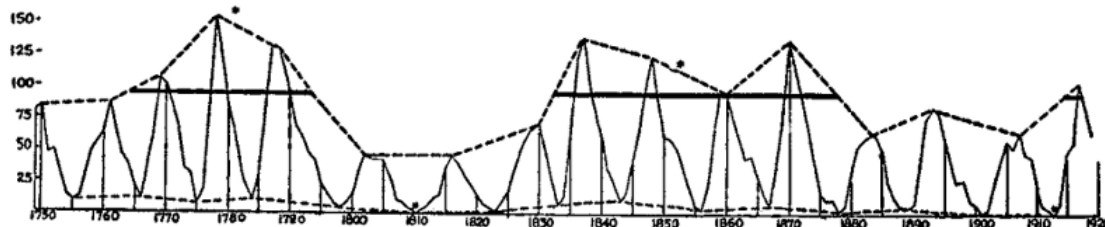


Рис. 11. Кривая солнечных пятен, показывающая циклы с 1750 по 1920 год.

Примечание. Звездочками отмечены два абсолютных минимума солнечных пятен в 1810 и 1913 годах и средние годы (1780 и 1854) двух периодов, когда максимумы солнечных пятен никогда не опускались ниже 95. Если Альфа Центавра оказывает влияние на атмосферу Солнца, то конец еще одного такого периода можно было бы ожидать недалеко от 1957 года.

ГЛАВА XVI

ЗЕМНАЯ КОРА И СОЛНЦЕ

Хотя проблемы этой книги могут уводить далеко в сторону, в конечном счете они возвращают нас на землю и в настоящее. На предыдущих страницах несколько раз упоминался тот факт, что периоды экстремальных климатических колебаний тесно связаны с большими движениями земной коры, в результате которых поднимаются горы и смещаются континенты. При попытке объяснить эту связь общая тенденция заключалась в том, чтобы смотреть в основном в прошлое, а не в настоящее. Следовательно, было почти невозможно выбрать одну из трех возможностей, и все они были сопряжены с трудностями. Во-первых, движения земной коры могли вызвать климатические колебания; во-вторых, климатические изменения могут вызвать движения земной коры; и в-третьих, колебания солнечной активности или какого-либо другого внешнего фактора могут привести к обоим типам земных явлений.

Идея о том, что движения земной коры являются основной причиной геологических изменений климата, становится все более несостоятельной по мере того, как сложность и быстрота климатических изменений становятся все более очевидными, особенно в послеледниковый период. Это подразумевает, что поверхность земли движется вверх и вниз со скоростью и легкостью, о которых, по-видимому, не может быть и речи. Если сослаться на вулканическую активность, проблема не становится яснее. Даже если бы вулканическая пыль часто и полностью заполняла воздух, ни ее присутствие, ни отсутствие не привели бы к появлению таких специфических черт, как локализация ледников, распределение лесса и мягкий климат на протяжении большей части геологического времени. Тем не менее, из-за больших трудностей, связанных с двумя другими возможностями, многие геологи по-прежнему придерживаются мнения, что прямо или косвенно более значительные климатические изменения были вызваны главным образом движениями земной коры и реакцией движений земной коры на атмосферу.

Возможность того, что климатические изменения сами по себе являются причиной движений земной коры, кажется настолько невероятной, что, по-видимому, никто не исследовал ее с какой-либо серьезностью. Тем не менее, стоит поднять вопрос о том, могут ли экстремальные климатические явления взаимодействовать с другими факторами в установлении времени, когда земная кора должна деформироваться.

Что касается третьей возможности, то совершенно логично приписать как климатические изменения, так и деформацию земной коры какому-то внешнему воздействию, солнечному или иному, но до сих пор было так мало свидетельств по этому вопросу, что такое приписывание просто напрашивалось само собой. Если бы небесные тела приблизились к земле достаточно близко, чтобы их гравитационное воздействие вызвало деформацию земной коры, вся жизнь, по-видимому, была бы уничтожена. Что касается солнца, то до сих пор не было убедительных доказательств того, что оно связано с движениями земной коры, хотя различные авторы высказывали предположения в этом направлении. В этой главе мы продолжим рассмотрение этих предложений и убедимся, что они, по крайней мере, заслуживают изучения.

В качестве предварительного заключения к этому исследованию, возможно, было бы полезно отметить, что совпадение между движениями земной коры и климатическими изменениями не столь абсолютное, как иногда предполагается. Например, глубокие изменения земной коры в конце мезозоя, насколько пока известно, не сопровождались повсеместным оледенением, хотя температура, по-видимому, была понижена. Бурная вулканическая и диастрофическая активность в миоцене также не была связана с экстремальными климатическими условиями. Действительно, по-видимому, разница от зоны к зоне была незначительной, поскольку в Гренландии росли инжир, хлебные деревья, древовидные папоротники и другие растения низких широт. Тем не менее, как в конце мезозоя, так и в миоцене климат, возможно, какое-то время был суровым, хотя данные об этом утеряны. С другой стороны, недавнее открытие Кирком ледниковых отложений на Аляске между слоями, несущими несомненную среднесилурийскую фауну, указывает на оледенение в то время, когда движение земной коры пока было незначительным.^[129] Таким образом, мы приходим к выводу, что, хотя климатические изменения и движения земной коры обычно происходят вместе, они могут происходить по отдельности.

Согласно солнечно-циклонической гипотезе, такого состояния следовало ожидать. Если бы солнце было особенно активным, когда земные условия препятствовали оледенению, изменения климата все равно происходили бы, но они были бы мягче, чем при других обстоятельствах, и оставили бы мало следов в горных породах. Или же оледенение могло иметь место в высоких широтах, например, на юге Аляски в Среднем силуре, и отсутствовать где-либо еще. С другой стороны, когда солнце было настолько неактивным, что не происходило сильных штормов, переворот континентов и образование гор могли продолжаться без образования ледяных покровов, как, по-видимому, произошло в конце мезозоя. Отсутствие абсолютного совпадения между оледенением и периодами широкого распространения земель очевидно даже сегодня, поскольку нет оснований предполагать, что сейчас земли заметно ниже или менее обширны, чем были во время плейстоценового оледенения. Фактически, есть много свидетельств того, что с тех пор многие районы поднялись. Однако оледенение сейчас гораздо менее обширно, чем в плейстоцене. Любая попытка объяснить это различие на основе земных изменений чрезвычайно сложна, поскольку форма и высота континентов и гор не сильно изменились за двадцать или тридцать тысяч лет. Тем не менее, нынешняя умеренно мягкая эпоха, подобно загадочным межледниковым эпохам более ранних времен, легко объяснима,

исходя из предположения, что атмосфера солнца может иногда меняться в соответствии с активностью земной коры, но не обязательно делать это постоянно.

Переходя теперь к основной проблеме того, как климатические изменения могут быть связаны с движениями земной коры, давайте последуем нашему обычному методу и рассмотрим, что происходит сегодня. Давайте сначала выясним, имеют ли землетрясения, которые являются одним из главных свидетельств того, что движения земной коры действительно происходят в наше время, какую-либо связь с солнечными пятнами. Чтобы проверить это, мы сравнили *Каталог разрушительных землетрясений Милна* с 1800 по 1899 год с данными Вольфа о количестве солнечных пятен за тот же период, месяц за месяцем. Каталог землетрясений, как описывает его составитель, "представляет собой попытку составить список землетрясений, которые вызвали изменения геологической важности в земной коре; движения, которые, вероятно, привели к созданию или расширению линии разлома, вибрации, сопровождающие которые, могли бы быть зарегистрированы с помощью соответствующих приборов на континенте или по всей поверхности нашего мира. Небольшие землетрясения были исключены, в то время как количество крупных землетрясений как в древности, так и в наше время было увеличено. В качестве иллюстрации исключения я могу упомянуть, что между 1800 и 1808 годами, которые взяты наугад, я нахожу в каталоге Маллета 407 записей. Только тридцать семь из них, которые сопровождались структурными повреждениями, были сохранены. С другими каталогами, такими как каталоги Перри и Фукса, поступили аналогичным образом".^[130]

Если землетрясения в таком тщательно подобранном списке имеют отчетливую связь с солнечными пятнами, то, по крайней мере, возможно, что аналогичная связь может существовать между солнечной активностью и геологическими изменениями в земной коре. Результат сравнения землетрясений и солнечных пятен показан в таблице 7. В первом столбце указаны номера солнечных пятен; во втором - количество месяцев, в течение которых были соответствующие номера пятен в течение столетия с 1800 по 1899 год. В столбце C показано общее количество землетрясений за месяцы с той или иной степенью пятнистости; в то время как в столбце D, который является значимым, указано среднее количество разрушительных землетрясений в месяц при каждом из шести условий солнечной пятнистости.

ТАБЛИЦА 7

РАЗРУШИТЕЛЬНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ С 1800 ПО 1899 ГОД В СРАВНЕНИИ С СОЛНЕЧНЫМИ ПЯТНАМИ

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>
<i>Количество солнечных пятен</i>	<i>Количество месяцев в таблице Вольфа</i>	<i>Количество землетрясений</i>	<i>Среднее количество землетрясений в месяц</i>	<i>Количество землетрясений в следующем месяце</i>	<i>Среднее количество землетрясений в следующем месяце</i>
0-15	344	522	1,52	512	1,49
15-30	194	306	1,58	310	1,60

30-50	237	433	1.83	439	1.85
50-70	195	402	2.06	390	2.00
70-100	135	286	2.12	310	2.30
более 100	95	218	2.30	175	1.84

Регулярность столбца D настолько велика, что позволяет почти с уверенностью утверждать, что мы здесь имеем дело с реальными отношениями. Столбец F, в котором показано среднее количество землетрясений за месяц, следующий за любым заданным состоянием солнца, по-прежнему более регулярный, за исключением последней записи.

Вероятность того, что шесть чисел, взятых случайным образом, расположатся в любом заданном порядке, равна одному к 720. Другими словами, есть один шанс из 720, что регулярность столбца D случайна. Но столбец F такой же регулярный, как и столбец D, за исключением последней записи. Если бы столбцы D и E были независимыми, был бы один шанс из примерно 500 000, что шесть чисел в обоих столбцах выпадут в одном и том же порядке, и один шанс из 14 400, что пять чисел в каждом выпадут в одном и том же порядке. Но эти две колонки в некоторой степени связаны, поскольку, хотя последствия сильного землетрясения никогда не включаются в таблицу Милна, землетрясение, потрясшее мир в одном регионе в течение данного месяца, вероятно, создает условия, благоприятствующие аналогичным землетрясениям в других местах в течение следующего месяца. Следовательно, вероятность того, что мы имеем дело с чисто случайным расположением в таблице 7, меньше одного к 14 400 и больше одного к 500 000. Это может быть один к 20 000 или 100 000. В любом случае она настолько незначительна, что существует высокая вероятность того, что прямо или косвенно солнечные пятна и землетрясения каким-то образом связаны.

При установлении связи между солнечными пятнами и землетрясениями было бы хорошо, если бы мы могли использовать строгий метод коэффициентов корреляции. Это, однако, невозможно для всего столетия, поскольку летопись ни в коем случае не однородна. На более ранние десятилетия приходится лишь примерно на четверть больше землетрясений, чем на более поздние, что, по-видимому, связано с недостатком информации. Это не имеет никакого значения по сравнению с методом, используемым в таблице 7, поскольку годы с большим или небольшим количеством солнечных пятен распределены почти одинаково на протяжении всего девятнадцатого века, но это делает метод коэффициентов корреляции неприменимым. В период с 1850 года летопись гораздо более однородна, хотя и не полностью. Однако даже в эти последние десятилетия необходимо учитывать тот факт, что зимой происходит больше землетрясений, чем летом, и среднее число землетрясений в месяц за пятьдесят лет было следующим:

2,8 Января	мая 2,4	сентября. 2.5
Февраля. 2.4	Июня. 2.3	Октября. 2.6
марта. 2.5	Июля 2.4	ноября 2.7
апреля 2.4	августа. 2.4	2.8 Декабря

Коэффициент корреляции между отклонениями от этих среднемесячных значений и соответствующими отклонениями от среднемесячных значений солнечных пятен за тот же период, 1850-1899 гг., следующий:

Количество солнечных пятен и землетрясений за тот же месяц: $+0,042$, или в 1,5 раза больше вероятной ошибки.

Количество солнечных пятен за данный месяц и землетрясений за этот и следующий месяц: $+0,084$, или в 3,1 раза больше вероятной ошибки.

Солнечные пятна трех месяцев подряд и землетрясения трех месяцев подряд с задержкой в один месяц, т. е. Солнечные пятна января, февраля и марта по сравнению с землетрясениями февраля, марта и апреля; солнечные пятна февраля, марта и апреля с землетрясениями марта, апреля и мая и т.д.; $+0,112$, или в 4,1 раза больше вероятной ошибки.

Все эти коэффициенты малы, но количество отдельных случаев (600 месяцев) настолько велико, что вероятная ошибка значительно снижается и составляет всего $\pm 0,027$ или $\pm 0,028$. Более того, природа наших данных такова, что даже если существует сильная связь между изменениями солнечной активности и движениями Земли, нам не следует ожидать большого коэффициента корреляции. Во-первых, как уже упоминалось, данные о землетрясениях не являются строго однородными. Во-вторых, в среднем около двух с половиной сильных землетрясений в месяц - это в лучшем случае лишь самый несовершенный показатель фактического движения земной коры. В-третьих, солнечные пятна являются лишь частичным и несовершенным показателем активности атмосферы Солнца. В-четвертых, связь между солнечной активностью и землетрясениями почти наверняка косвенная. Принимая во внимание все эти условия, регулярность таблицы 7 и тот факт, что наиболее важный коэффициент корреляции более чем в четыре раза превышает вероятную ошибку, делают почти несомненным, что солнечные и земные явления действительно связаны.

Теперь мы сталкиваемся с трудным вопросом о том, как может иметь место такая связь. На данный момент представляются только три возможности, и каждая из них открыта для возражений. Главными факторами, влияющими на эти три возможности, являются тепло, электричество и атмосферное давление. О тепле можно не говорить очень кратко. Мы видели, что поверхность земли становится относительно прохладной, когда активно солнце. Теоретически даже малейшее изменение температуры поверхности земли должно влиять на температурный градиент далеко вглубь и, следовательно, вызывать изменение объема, которое может вызвать движения земной коры. Практически тепло поверхности перестает иметь заметное значение на глубине, возможно, двадцати футов, и даже на этой глубине оно действует недостаточно быстро, чтобы вызвать относительно быструю реакцию, которая, по-видимому, характерна для землетрясений по отношению к солнцу.

Вторая возможность основана на взаимосвязи между солнечным и земным электричеством. Когда солнце активно, электрический потенциал атмосферы Земли подвержен небольшим колебаниям. Хорошо известно, что когда две противоположные точки ионизированного раствора электрически заряжены противоположно, ток проходит через жидкость и запускает электролиз, в результате чего происходит разделение материалов и, как следствие, изменение объема деталей вблизи соответствующих электрических полюсов. Тот же процесс происходит, хотя и менее свободно, в горячей массе, такой, какая образует недра земли. Возникает вопрос,

не могут ли внутренние электрические токи проходить между двумя противоположно заряженными полюсами земли или даже между огромными континентальными массивами и областями более тяжелых горных пород, лежащих в основе океанов. Может ли это привести к электролизу, следовательно, к дифференциации объема и, следовательно, к движениям земной коры? Могут ли результаты изменяться в зависимости от солнца? Боуи^[131] показал, что многочисленные измерения силы и направления гравитационного притяжения Земли объяснимы только в предположении, что подъем континента или горного хребта частично обусловлен не только давлением или даже перемещением пород под земной корой, но и фактическим изменением объема, в результате чего породы под континентом достигают относительно большого объема, а породы под океанами - небольшого объема пропорционально их весу. Возникает вопрос, может ли это изменение громкости быть связано с электрическими токами на некоторой глубине под поверхностью земли.

Возражений против этой гипотезы множество. Во-первых, имеется мало свидетельств электролитической дифференциации горных пород. Во-вторых, внешняя часть земной коры является очень плохим проводником, так что сомнительно, что даже высокая степень наэлектризованности поверхности окажет большое влияние на внутреннюю часть. В-третьих, электролиз по любым таким незначительным причинам, которые мы здесь постулировали, должен быть чрезвычайно медленным процессом, по-видимому, слишком медленным, чтобы дать какой-либо заметный результат в течение месяца или двух. К этим трем возражениям присоединяются и другие, делающие невероятным, что электрическая активность солнца оказывает какое-либо прямое влияние на движения земной коры.

Третья, или метеорологическая гипотеза, согласно которой барометрическое давление является основным посредником между солнечной активностью и землетрясениями, на первый взгляд кажется почти такой же невероятной, как тепловая и электрическая гипотезы. Тем не менее, у него есть определенная степень поддержки со стороны наблюдений, которая полностью отсутствует в двух других случаях. Среди обширных работ о периодичности землетрясений с большой отчетливостью выделяется один главный факт: количество землетрясений варьируется в зависимости от сезона. Этот факт уже был случайно показан в таблице частоты землетрясений по месяцам. Если принять во внимание тот факт, что февраль - короткий месяц, то с декабря и января по июнь наблюдается регулярное снижение частоты сильных землетрясений. Поскольку большинство землетрясений Милна произошло в северном полушарии, это означает, что сильные землетрясения происходят зимой примерно на 20 процентов чаще, чем летом.

таблица 8.

сезонные марта землетрясений
после Дэвиссон и Нотт

А	Б	Ц	Д	Е	Ф	г
области	ограничени	число	максималь	амплитуды	ожидается	соотноше
	я времени	ударов	ное месяц		амплитуды	ние

						<i>фактической к ожидаемой амплитуды</i>
Северном полушарии	223-1850	5879	декабря.	0.110	0.023	4.8
Северном Полушарии	1865-1884	8133	Декабря.	0.290	0.020	14.5
Европы	1865-1884	5499	Декабря.	0.350	0.024	14.6
Европы	306-1843	1961	Декабря.	0.220	0.040	5.5
Юго- Восточной Европы	1859-1887	3470	Декабря.	0.210	0.030	7.0
Везувий Район	1865-1883	513	Декабря.	0.250	0.078	3.2
Италия:						
Старые Tromometre	1872-1887	61732	Декабря.	0.490	0.007	70.0
Старый Tromometre	1876-1887	38546	Декабря.	0.460	0.009	49.5
Нормальны й Tromometre	1876-1887	38546	Декабря.	0.490	0.009	52.8
Балкан, и т. д.	1865-1884	624	декабря.	0.270	0.071	3.8
Венгрия и т. д.	1865-1884	384	декабря.	0.310	0.090	3.4
Италии	1865-1883	2350	Декабря.(С ентябрь.)	0.140	0.037	3.8
Греческий Архип.	1859-1881	3578	декабря.- Января.	0.164	0.030	5.5
Австрия	1865-1884	461	Января.	0.370	0.083	4.4
Швейцария д, и т. д.	1865-1883	524	января.	0.560	0.077	7.3
Азии	1865-1884	458	Февраля.	0.330	0.083	4.0
Северной Америке	1865-1884	552	Ноября.	0.350	0.075	4.7
Калифорни я	1850-1886	949	Октября.	0.300	0.058	5.2
Японии	1878-1881	246	Декабря.	0.460	0.113	4.1
Японии	1872-1880	367	Декабря.-	0.256	0.093	2.8

			Января.			
Японии	1876-1891	1104	Февраля.	0.190	0.053	3.6
Японии	1885-1889	2997	Октября.	0.080	0.032	2.5
Занте	1825-1863	1326	Августа.	0.100	0.049	2.0
Италии, к северу от Неаполя	1865-1883	1513	сентября.(Н оябрь.)	0.210	0.046	4.6
Ост-Индии	1873-1881	515	Августа., Окт. или декабря.?	0.071?	0.078	0.9
Малайского Архип.	1865-1884	598	Мая	0.190	0.072	2.6
Новая Зеландия	1869-1879	585	Августа.- Сентябрь.	0.203	0.073	2.8
Чили	1873-1881	212	Июля	0.480	0.122	3.9
Южном Полушарии	1865-1884	751	Июля	0.370	0.065	5.7
Новой Зеландии	1868-1890	641	Марте, Мае	0.050	0.070	0.7
Чили	1865-1883?	316	Июля, Декабря.	0.270	0.100	2.7
Перу, Боливия	1865-1884	350	Июля	0.480	0.095	5.1

Наиболее тщательным исследованием этого предмета, по-видимому, занимался Дэвиссон.^[132] Его результаты были переработаны и дополнены Ноттом,^[133] который проверил их точными математическими методами Шустера. Его результаты приведены в таблице 8.^[134] Здесь на первом месте находится северное полушарие ; затем идут Ост-Индия и Малайский архипелаг, лежащие близко к экватору; и, наконец, южное полушарие. В северном полушарии практически все максимумы приходятся на зиму, поскольку декабрь приходится на пятнадцать случаев из двадцати пяти в столбце D, в то время как январь, февраль или ноябрь - на шесть других. Также примечательно, что в шестнадцати случаях из двадцати пяти отношение фактической амплитуды к ожидаемой в столбце G составляет четыре или более, так что указывается реальная взаимосвязь, в то время как соотношение опускается ниже трех только в Японии и Занте. Экваториальные данные, в отличие от данных северного полушария, неопределенны, поскольку в Ост-Индии ни один месяц не показывает заметного максимума, а ожидаемая амплитуда превышает фактическую. Даже на Малайском архипелаге, где максимум приходится на май, отношение фактической амплитуды к ожидаемой составляет всего 2,6. Что касается южного полушария, то зимние месяцы этого полушария отмечены максимумом так же сильно, как и зимние месяцы северного полушария. Июль или август приходится на пять из шести случаев. Здесь соотношение между фактической и ожидаемой амплитудами не так велико, как в северном полушарии. Тем не менее, в Чили он практически равен четырем и превышает пять в Перу и Боливии, а также в данных по всему южному полушарию.

Вся взаимосвязь между землетрясениями и временами года в северном и южном полушариях представлена на рис. 12, взятом у Нотта. В северном полушарии наблюдается регулярное уменьшение частоты землетрясений с декабря по июнь и увеличение в остальное время года. В южном полушарии ход событий одинаков в том, что касается лета и зимы, поскольку август с его максимумом приходится на зиму, в то время как февраль с его минимумом приходится на лето. В южном полушарии в зимний месяц наибольшей сейсмической активности происходит более чем на 100 процентов больше землетрясений, чем в летний месяц наименьшей активности. В северном полушарии эта разница составляет около 80%, но этот меньший показатель отчасти объясняется тем, что данные по северным регионам включают определенные интересные и значимые регионы, такие как Япония и Китай, где обычные условия противоположны.^[135] Если бы на рис. 12 были включены экваториальные области, они давали бы почти прямую линию.

Связь между землетрясениями и временами года настолько сильна, что почти никто из изучающих сейсмологию не подвергает ее сомнению, хотя они и не согласны с ее причиной. Метеорологическая гипотеза, по-видимому, является единственным логическим объяснением.^[136] Везде, где имеются достаточные данные, землетрясения, по-видимому, наиболее многочисленны, когда климатические условия вызывают наиболее сильную нагрузку на земную поверхность или наиболее быстрое изменение ее нагрузки. Основным фактором нагрузки, по-видимому, является атмосферное давление. Это действует двояко. Во-первых, когда зимой на континентах становится холодно, давление увеличивается. В среднем воздух на уровне моря оказывает давление на поверхность земли со скоростью 14,7 фунтов на квадратный дюйм, или более тонны на квадратный фут, и лишь немногим меньше тридцати миллионов тонн на квадратную милю. Средняя разница в один дюйм между атмосферным давлением летом и зимой на десяти миллионах квадратных миль Азиатского континента, например, означает, что нагрузка на континент зимой примерно на десять миллионов миллионов тонн тяжелее, чем летом. Во-вторых, изменения атмосферного давления, вызванные прохождением штормов, относительно резкие и внезапные. Следовательно, они, вероятно, более эффективны, чем колебания нагрузки от сезона к сезону. На это указывает быстрота, с которой земная реакция, по-видимому, следует за предполагаемой солнечной причиной землетрясений. На это также указывает тот факт, что за сильными штормами часто следуют сильные землетрясения. "Погода при землетрясении", как предполагает доктор Шлезингер, является распространенной фразой в районе тайфунов в Японии, Китае и Ост-Индии. Во время тропических ураганов обычное дело - изменение давления на полдюйма за два часа. 22 сентября 1885 года на маяке Фальш-Пойнт в Бенгальском заливе барометр упал примерно на дюйм за шесть часов, затем почти на полтора дюйма немногим более чем за два часа и, наконец, поднялся на целых два дюйма за два часа. Падение атмосферного давления на два дюйма означает, что с каждой квадратной мили суши снимается нагрузка примерно в два миллиона тонн; соответствующее повышение давления означает добавление аналогичной нагрузки. Такой шторм, и в меньшей степени любой другой шторм, наносит удар по поверхности земли, сначала снимая миллионы тонн давления, а затем снова создавая их.^[137] Такие штормы, как мы видели, гораздо более частые и сильные, когда солнечных пятен много, чем в другое время. Более того, как давным-давно показал Видер^[138], одним из наиболее примечательных свидетельств связи между солнечными пятнами и погодой является внезапное повышение давления в определенных широко разделенных областях с высоким давлением. В большинстве регионов мира зима - это не только сезон самого высокого давления и наиболее частых изменений типа Видера, но и самых сильных штормов. Следовательно, метеорологическая

гипотеза привела бы к ожиданию, что землетрясения будут происходить чаще зимой, чем летом. Однако на побережье Китая, а также на океанической стороне Японии, а также в некоторых более тропических регионах основные штормы обрушиваются летом в виде тайфунов. Это места, где землетрясения также наиболее часты летом. Таким образом, куда бы мы ни повернулись, штормы и связанные с ними изменения барометрических показателей кажутся наиболее частыми и сильными именно в то время, когда землетрясения также наиболее часты.

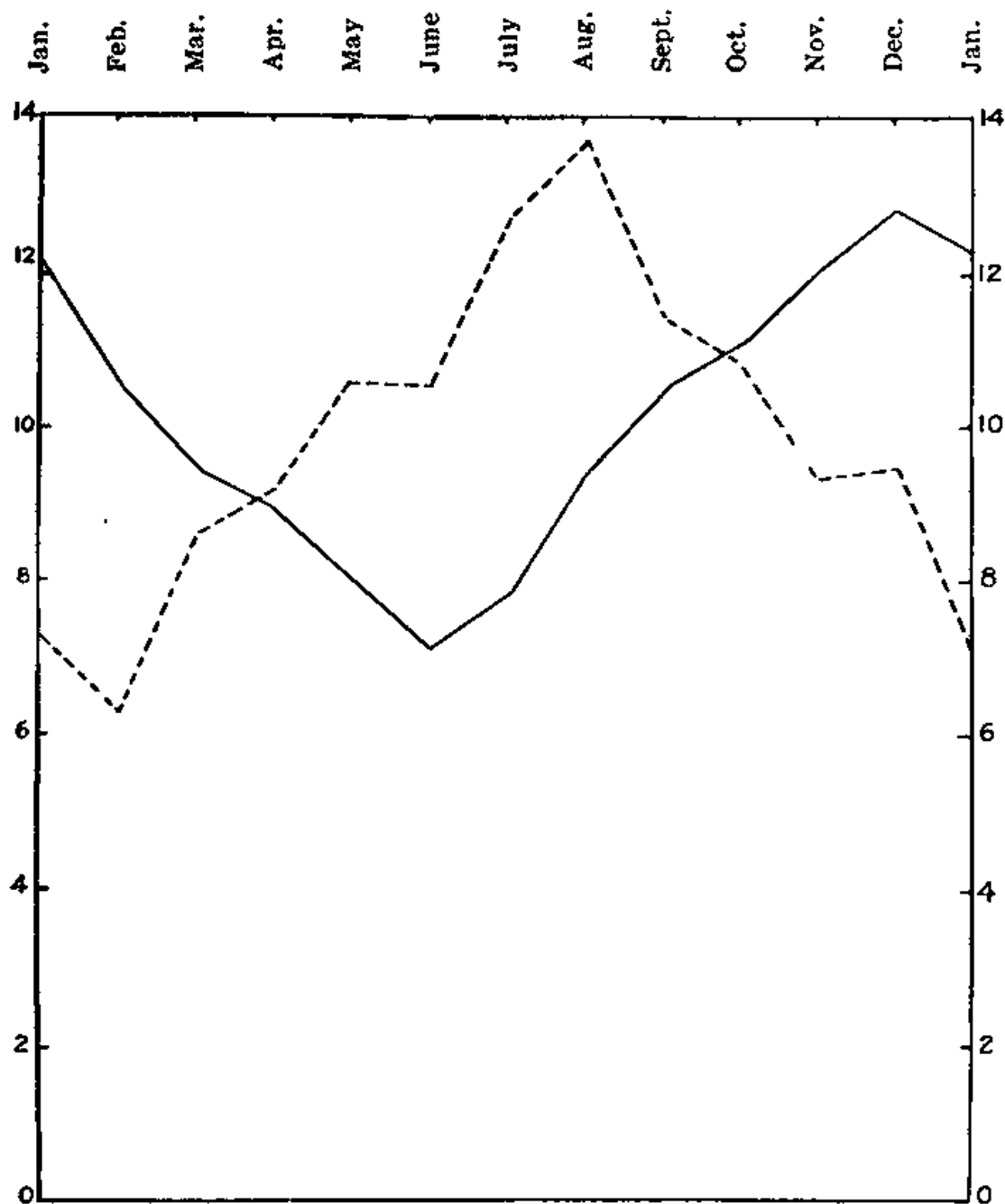


Рис. 12. Сезонное распределение землетрясений. (По Дэвиссону и Нотту.)
 - Северное полушарие.
 - - - Южное полушарие.

Другие метеорологические факторы, такие как дождь, снег, ветры и течения, вероятно, оказывают некоторое влияние на землетрясения благодаря их способности нагружать земную кору. Появление растительности также может помочь. Однако эти факторы, по-видимому, не имеют большого значения по сравнению со штормами. В высоких широтах и в регионах с обильными штормами большинство этих факторов обычно сочетаются с атмосферным давлением, вызывая частые изменения нагрузки на земную кору, особенно зимой. С другой стороны, в низких широтах бывает мало сильных штормов и относительно небольшой контраст в давлении и растительности от сезона к сезону; снега нет; и количество грунтовых вод меняется незначительно. С этим связан двойной факт: не существует выраженного сезонного распределения землетрясений и что, за исключением определенных местных вулканических районов, землетрясения, по-видимому, редки. Например, в экваториальной Африке и Южной Америке относительно мало свидетельств землетрясений в соответствующих районах.

Вопрос о реальности связи между метеорологическими условиями и движениями земной коры настолько важен, что следует применять все возможные проверки. По предложению профессора Шлезингера мы обратились к очень остроумному направлению исследования. В течение последних десятилетий девятнадцатого века длинная серия чрезвычайно точных наблюдений широты выявила факт, о котором ранее подозревали, но не доказывали, а именно, что земля слегка качается вокруг своей оси. Сама ось всегда указывает в одном и том же направлении, и поскольку земля неравномерно вращается вокруг нее, широта всех частей земли продолжает меняться. Чандлер показал, что вызванное таким образом колебание состоит из двух частей. Первый - это движение по кругу радиусом около пятнадцати футов, которое описывается примерно за 430 дней. Это так называемое эйлерово движение является обычным гироскопическим движением, подобным медленному вращению вращающегося волчка. Это зависит от чисто астрономических причин, и никакая земная причина не может остановить это или устранить. Период кажется постоянным, но есть определенные загадочные отклонения. Обычная амплитуда этого движения, как выразился Шлезингер^[139], "составляет около 0".27, но дважды за последние годы она подскакивала до 0".40. Такое изменение можно было бы объяснить, предположив, что земля получила сильный удар или серию более мягких ударов, направленных в том же направлении ". Эти удары, первоначально предложенные Гельмертом, наиболее интересны в свете нашего предположения относительно ударов, наносимых штормами.

Второе движение шеста имеет период в год и представляет собой примерно эллипс, самый большой радиус которого составляет четырнадцать футов, а самый короткий - четыре фута; или, выражаясь технически, существует годовой период с максимальной амплитудой около 0".20. Это, однако, меняется неравномерно. В результате кажется, что полюс движется по поверхности земли по спирали, показанной на рис. 13. Ранее было высказано предположение, что это своеобразное колебание полюса в течение годового периода должно быть вызвано метеорологическими причинами. Джеффрис^[140] исчерпывающе исследовал этот вопрос. Он предполагает определенные разумные значения веса воздуха, добавляемого или вычитаемого из различных частей земной поверхности в зависимости от времени года. Он также рассматривает влияние осадков, растительности и полярных льдов, а также колебаний температуры и атмосферного давления в их связи с движением океана. Затем он продолжает сравнивать все это с фактическим блужданием полюса с 1907 по 1913 год. Хотя пока еще слишком рано говорить о том, что какое-либо особое движение полюса было вызвано специфическими метеорологическими условиями какого-либо конкретного года, работа

Джеффриса ясно показывает, что метеорологических причин, особенно атмосферного давления, достаточно, чтобы вызвать наблюдаемые нерегулярные колебания. Небольшие колебания могут быть вызваны различными другими источниками, такими как движение горных пород при возникновении геологических разломов или накат большой волны из-за подводного землетрясения. Однако, насколько известно, все эти другие факторы вызывают незначительные перемещения по сравнению с теми, которые возникают в результате движения воздуха. Этот факт в сочетании с математической уверенностью в том, что метеорологические явления должны вызывать некоторое отклонение полюса, заставил большинство астрономов согласиться с выводом Джеффриса. Если мы последуем их примеру, то придем к выводу, что изменения атмосферного давления и других метеорологических условий наносят удары, которые иногда смещают землю на несколько футов от ее нормального положения относительно оси.

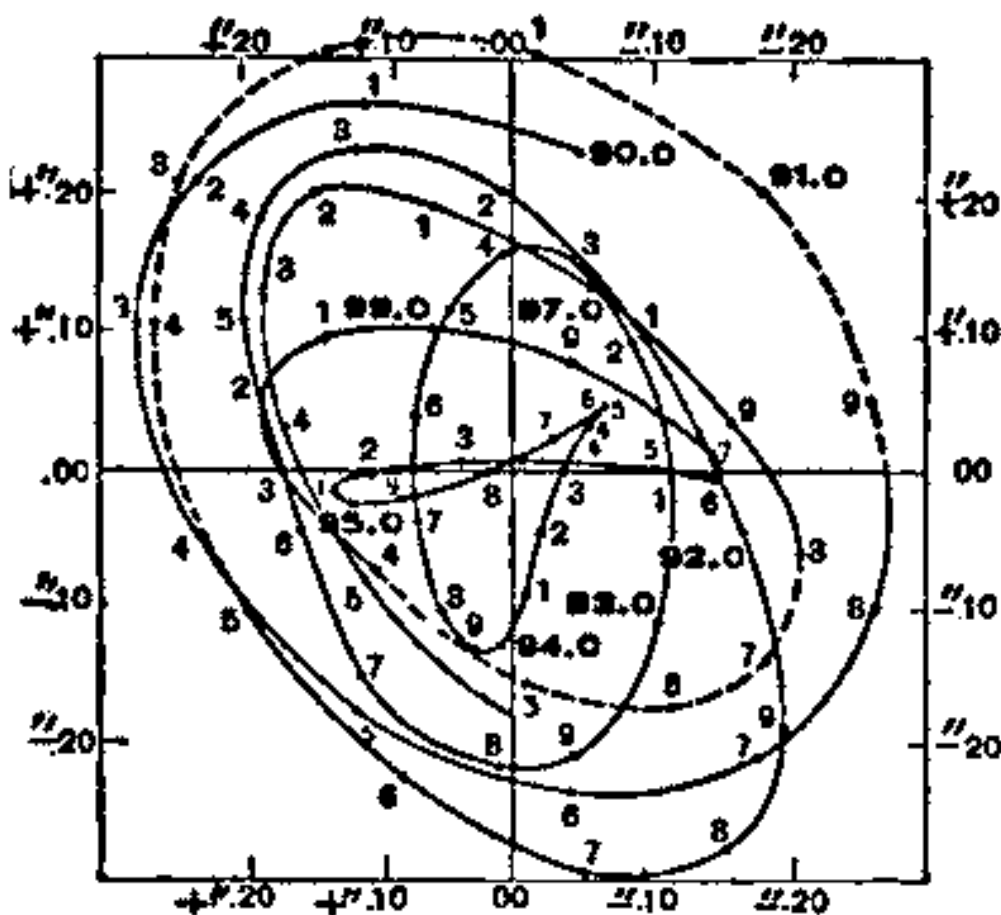


Рис. 13. Блуждание полюса с 1890 по 1898 год. (После Моултона.)

Если приведенные выше рассуждения верны, то следует ожидать, что значительные и особенно внезапные отклонения от гладкой гироскопической окружности, описываемой полюсом в эйлеровом движении, произойдут примерно в то же время, что и необычная сейсмическая активность. Это подводит нас к интересному исследованию, проведенному Милном^[141] и дополненному Ноттом.^[142] Используя представление Альбрехта о нерегулярном спиралевидном

движении полюса, приведенном на рис. 13, они показывают, что сильные землетрясения преобладают в периоды, когда направление движения земли относительно ее оси отклоняется от гладкой кривой Эйлера. Краткое изложение их результатов приведено в таблице 9. Таблица показывает, что в период с 1892 по 1905 год было девять различных случаев, когда кривая на рис. 13 меняла свое направление или отклонялась менее чем на 10° в течение десятой части года. Другими словами, в те периоды она изгибалась не так сильно, как следовало бы в соответствии с эйлеровым движением. В это время произошло 179 землетрясений, сотрясающих мир, или в среднем около 19,9 на десятую часть года. Согласно другим строкам таблицы 9, в тридцати двух случаях отклонение в течение десятой части года составляло от 10° до 25°, в то время как в пятидесяти шести случаях оно составляло от 25° до 40°. В течение этих периодов кривая оставалась близкой к траектории Эйлера, и землетрясения, сотрясавшие мир, составляли в среднем только 8,2 и 12,9. Затем, когда отклонение было большим, то есть когда метеорологические условия отбросили землю далеко от ее эйлерова курса, землетрясений снова стало много, их число возросло до 23,4, когда отклонение составило более 55°.

ТАБЛИЦА 9

ОТКЛОНЕНИЕ ТРАЕКТОРИИ ПОЛЮСА ПО СРАВНЕНИЮ С ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ

<i>Отклонение</i>	<i>Количество отклонений</i>	<i>Количество землетрясений</i>	<i>Среднее число землетрясений</i>
0-10°	9	179	19.9
10-25°	32	263	8.2
25-40°	56	722	12.9
40-55°	19	366	19.3
более 55°	7	164	23.4

Чтобы проверить этот вывод другим способом, мы последовали предложению профессора Шлезингера. По его совету эйлерово движение было устранено, и новая серия записей землетрясений была сопоставлена с оставшимися движениями полюсов, которые, предположительно, в основном вызваны метеорологическими причинами. Для этой цели были использованы очень полные отчеты о землетрясениях, опубликованные под эгидой Международной сейсмологической комиссии за 1903-1908 годы, единственные годы, за которые они доступны. К ним относятся все известные толчки любого типа, которые были зарегистрированы сейсмографами или прямым наблюдением в любой части мира. Каждому толчку придается одинаковый вес, независимо от его силы или того, насколько близко он следует за другим. Угол отклонения был измерен так, как его измерил Милн, но поскольку эйлерово движение исключено, наш ноль является приблизительно нормальным состоянием, которое преобладало бы, если бы не было метеорологических осложнений. Разделив прогибы на шесть равных групп в соответствии с величиной угла, мы получаем результат, приведенный в таблице 10.

ТАБЛИЦА 10

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 1903-1908 ГОДОВ В СРАВНЕНИИ С ОТКЛОНЕНИЯМИ ПРОГНОЗИРУЕМОЙ КРИВОЙ ЗЕМНОЙ ОСИ ОТ ЭЙЛЕРОВА ПОЛОЖЕНИЯ

<i>Средний угол отклонения (10 периодов по 1/10 года каждый)</i>	<i>Среднесуточное число землетрясений</i>
-10.5°	8.31
11.5°	8.35
25.8°	8.23
40.2°	8.14
54.7°	8.86
90.3°	11.81

Здесь, где задействовано около двадцати тысяч землетрясений, результат полностью согласуется с результатом Милна для другого ряда лет и для гораздо меньшего числа землетрясений. Пока траектория полюса отклоняется менее чем примерно на 45 ° от гладкой гироскопической траектории Эйлера, количество землетрясений почти постоянно - около восьми с четвертью в день. Однако, когда угол становится большим, это число увеличивается почти на 50 процентов. Таким образом, работа Милна, Нотта и Джеффриса подтверждается новым исследованием. Очевидно, землетрясения и движения земной коры каким-то образом связаны с внезапными изменениями нагрузки, оказываемой на земную кору метеорологическими условиями.

Этот вывод удивляет авторов не меньше, чем читателя, а может быть, и больше. В начале этого исследования мы вообще не верили в какую-либо важную связь между климатом и землетрясениями. В конце концов, мы склонны полагать, что эта связь тесна и важна.

Однако не следует предполагать, что метеорологические условия являются *причиной* землетрясений и движений земной коры. Даже при том, что нагрузка, которую климатические агентства могут налагать на земную кору, исчисляется миллионами тонн на квадратную милю, это мелочь по сравнению с тем, что способна выдержать земная кора. Однако существует большая разница между причиной и поводом явления. Предположим, что толстый лист стекла подвергается возрастающему напряжению. Если напряжение прикладывается достаточно медленно, то даже такой твердый материал, как стекло, в конечном итоге будет изгибаться, а не ломаться. Но предположим, что при высоком напряжении стекло подвергается постукиванию. За легким постукиванием может последовать крошечная трещинка. Серия небольших постукиваний может быть сигналом к распространению мелких трещинок во всех направлениях. Несколько чуть более сильных постукиваний могут привести к внезапному разрыву всего листа на множество частей. Однако даже самый сильный удар может оказаться сущим пустяком по сравнению с огромной силой, которая удерживает стекло в напряженном состоянии и которая в конечном итоге согнула бы его, если бы дали время.

Кажется, что земля в целом находится между сталью и стеклом по жесткости. Общеизвестно, что горные породы занимают высокое положение в этом отношении и, как следствие, с трудом

поддаются изгибу без разрушения. Из-за сжатия земли земная кора испытывает постоянное напряжение, которое постепенно должно стать огромным. Это напряжение усиливается из-за того, что наносы переносятся с суши к границам моря и там образуют области мощного накопления. Из этого возникло учение об изостазии, или выравнивании давления земной коры. Важной иллюстрацией этого является смещение к океану и экватору, которое было описано в главе XI. Там мы увидели, что, когда земли однажды поднимались на высокие уровни, или когда укорочение земной оси из-за сжатия увеличивало океаническую выпуклость на экваторе, или когда происходило обратное из-за замедления приливов, внешняя часть земли, по-видимому, медленно возвращалась в положение совершенной изостатической регулировки. Если бы солнце не оказывало на землю никакого влияния, прямого или косвенного, изостазия и другие земные процессы могли бы изгибать земную кору настолько постепенно, что изменения формы и высоты суши всегда происходили бы медленно, даже с геологической точки зрения. Таким образом, эрозия обычно могла бы удалять породы так же быстро, как только они были бы возвышены над общим уровнем. Если бы это произошло, горы были бы редкими или неизвестными, и, следовательно, климатические контрасты были бы гораздо менее заметными, чем на самом деле на нашей земле, где движения земной коры неоднократно были достаточно быстрыми, чтобы образовались горы.

Природные методы редко позволяют так постепенно приспосабливаться к силам изостазии. В то время как земная кора испытывает напряжение не только из-за сжатия, но и из-за изменения ее нагрузки в результате переноса отложений и медленного увеличения или уменьшения выпуклости на экваторе, атмосфера более или менее упорно продолжает процесс вытягивания. Интенсивность этого процесса сильно варьируется, и эти колебания в значительной степени зависят от серьезности климатических контрастов. Если основные положения циклонической гипотезы достоверны, то одним из первых последствий возмущения атмосферы Солнца является усиление штормового воздействия на землю. Это сопровождается увеличением интенсивности почти в каждом метеорологическом процессе. Однако наиболее важным эффектом для земной коры, по-видимому, были бы быстрые и интенсивные изменения атмосферного давления, которые возникали бы в результате быстрого прохождения одного сильного шторма за другим. Каждый шторм был бы небольшим постукиванием по напряженной земной коре. Любой единичный выброс может иметь незначительные последствия, даже если он повлечет за собой изменение давления на миллиард тонн на территории, не превышающей территорию штата Род-Айленд. Однако быстрая и нерегулярная последовательность таких ударов, возможно, может привести к растрескиванию земной коры и, в конечном итоге, к разрушению в ответ на напряжения, возникающие в результате усадки земли.

Другим и, возможно, более важным следствием изменений в интенсивности штормов и особенно в расположении районов, подверженных штормам, было бы ускорение эрозии в одних местах и замедление в других. Значительное увеличение количества осадков может почти полностью обнажить почву на склонах, в то время как уменьшение количества осадков до такой степени, что большая часть растительности отмирает, имеет аналогичный эффект. Если такие изменения произойдут быстро, в определенных районах за короткое время могут сконцентрироваться большие толщи осадочных пород, что нарушит изостатическое изменение земной коры. Это могло бы создать состояние напряжения, которое в конечном счете должно было бы быть снято, что, возможно, инициировало бы глубокие движения земной коры. Изменения нагрузки на земную кору из-за эрозии и отложения наносов, какими бы быстрыми они ни были с геологической точки зрения, происходят медленно по сравнению с изменениями

атмосферного давления. Падение атмосферного давления на дюйм эквивалентно удалению примерно пяти дюймов твердой породы. Даже при самых благоприятных обстоятельствах удаление породы толщиной в пять дюймов или ее эквивалента из почвы на площади в миллионы квадратных миль, вероятно, заняло бы несколько сотен лет, в то время как удаление аналогичного количества воздуха может произойти за полдня или даже за несколько часов. Таким образом, эрозия и отложения из-за климатических изменений, по-видимому, играют свою роль в деформации земной коры, главным образом создавая напряжения в земной коре, в то время как штормы, так сказать, наносят резкие, внезапные удары.

Предположим теперь, что длительный период мягкого климата во всем мире, такой, как описан в главе X, должен привести к огромному накоплению напряжений из-за сжатия и замедления приливов. Предположим, что тогда внезапное изменение климата должно было вызвать быстрое смещение глубоких слоев почвы, накопившихся на землях, с соответствующей локализацией и увеличением деформаций. Предположим также, что частые и сильные штормы играют свою роль, большие или малые, вызывая интенсивное раскачивание земной коры. В таком случае окончательный коллапс был бы соответственно велик, что было бы очевидно в последующую геологическую эпоху. Морское дно могло опуститься ниже, континенты могли приподняться, а горные хребты могли вытянуться вверх по линиям особой слабости. Это история геологического периода, известного исторической геологии. Сила, вызывающая такие движения, была бы действием силы тяжести на кору, окружающую сжимающиеся недра земли. Тем не менее климатические изменения могут иногда определять дату, когда гравитационное притяжение, наконец, преодолет инерцию и, таким образом, положит начало движениям земной коры, которые завершают старые геологические периоды и открывают новые. Это, однако, могло произойти только в том случае, если земная кора находилась под достаточным напряжением. Как говорит Лоусон^[143] в своем обсуждении "теории упругого отскока", внезапные сдвиги земной коры, которые, по-видимому, являются основной причиной землетрясений, "могут произойти только после предельного накопления напряжения и ... это накопление приводит к медленному расползанию пораженной области. В длительные периоды между сильными землетрясениями энергия, необходимая для таких толчков, накапливается в горных породах в виде упругого сжатия".

Если бы период интенсивных штормов наступил, когда земля в целом находилась в таком напряженном состоянии, внезапное высвобождение напряжений могло бы привести к земным изменениям, которые еще больше изменили бы климат, сделав его более экстремальным и, возможно, позволив штормам, вызванным солнечными возмущениями, вызвать оледенение. В то же время, если вулканическая активность усилится, это увеличит свою долю тенденции к оледенению. Тем не менее, легко может случиться, что произойдет очень значительное движение земной коры, не вызвав образования континентального ледяного покрова или даже заметного альпийского ледяного покрова. Или, опять же, если напряжения в земной коре уже были в значительной степени высвобождены другими факторами до начала штормового периода, климат может стать достаточно суровым, чтобы вызвать оледенение в высоких широтах, не приводя к каким-либо очень заметным движениям земной коры, как, по-видимому, произошло в середине силурийского периода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На этом мы должны завершить это исследование эволюции Земли. Его фундаментальный принцип заключается в том, что настоящее, при правильном понимании, дает полный ключ к прошлому. Руководствуясь этим, мы затронули множество гипотез, как существенных, так и необязательных для общего направления мысли. Первая основная гипотеза заключается в том, что нынешние климатические колебания Земли коррелируют с изменениями в атмосфере Солнца. Это лейтмотив всей книги. Однако она настолько хорошо зарекомендовала себя, что считается скорее теорией, чем гипотезой. Далее следует гипотеза о том, что изменения солнечной атмосферы влияют на климат Земли главным образом за счет изменения не только температуры, но и атмосферного давления и, следовательно, интенсивности штормов, ветра и осадков. Это тоже одна из важнейших основ, на которой построена остальная часть книги, но, хотя эта циклоническая гипотеза все еще является предметом обсуждения, она, по-видимому, основана на убедительных доказательствах. Эти две гипотезы могли бы ввести нас в заблуждение, если бы они не были уравновешены другой. Другое заключается в том, что многие климатические условия обусловлены чисто земными причинами, такими как форма и высота суши, степень объединения континентов, движение океанских течений, активность вулканов и состав атмосферы и океана. Только объединив солнечное и земное, можно постичь истину. Наконец, последняя основная гипотеза этой книги гласит, что если бы климатические условия, которые сейчас преобладают во время солнечной активности, были достаточно усилены и если бы они возникали в сочетании с определенными важными земными условиями, о которых имеются убедительные свидетельства, они вызвали бы большинство примечательных явлений ледниковых периодов. Например, они могли бы объяснить такие загадочные условия, как локализация и периодичность оледенения, образование лесса и возникновение оледенения в низких широтах в пермский и протерозойский периоды. Обратным является то, что если условия, которые сейчас преобладают во времена, когда солнце относительно неактивно, должны быть усилены, то есть, если атмосфера солнца должна стать более спокойной, чем сейчас, и если будут преобладать надлежащие земные условия топографической формы и состава атмосферы, возникнут мягкие климатические условия, которые, по-видимому, преобладали в течение большей части геологического времени. Короче говоря, пока, по-видимому, не существует ни одной климатической фазы прошлого, которая не соответствовала бы гипотезе, объединяющей в единое целое три основные гипотезы этой книги: солнечную, циклоническую и земную.

Вне основного направления мысли лежит несколько других гипотез. Некоторые из них, а также некоторые из основных гипотез, обсуждаются главным образом в книге *"Земля и Солнце"*, но поскольку в этой книге им дается практическое применение, они заслуживают места в этом заключительном обзоре. Каждая из этих второстепенных гипотез по-своему важна. Однако любая или все они могут оказаться неверными без изменения наших основных выводов. Этот момент нельзя подчеркивать слишком сильно, поскольку всегда существует опасность того, что расхождения во мнениях относительно второстепенных гипотез и даже деталей могут отвлечь внимание от главного. Среди несущественных гипотез - идея о том, что атмосфера Солнца влияет на атмосферу Земли как электрически, так и термически. Эта идея все еще настолько нова, что только вступила в стадию активного обсуждения, и, естественно, весомое мнение высказывается против нее. Хотя это и не является необходимым для основной цели этой книги, оно играет второстепенную роль в главе, посвященной отношению солнца к другим

астрономическим телам. Это также имеет жизненно важное значение для дальнейшего развития науки метеорологии и искусства прогнозирования погоды. Другая вторичная гипотеза гласит, что солнечные пятна приводятся в движение планетами. Является ли этот эффект гравитационным, или, что более вероятно, электрическим, или, возможно, какого-то другого рода, нас в настоящее время не интересует, хотя масса свидетельств, по-видимому, указывает на электронное излучение. Этот вопрос, как и вопрос об относительной роли тепла и электричества в климатических изменениях на земле, можно пока отложить в сторону. Что нас действительно беспокоит, так это третья гипотеза, а именно, что если планеты действительно определяют периодичность появления солнечных пятен, даже если и не обеспечивают их энергией, то солнце в своем полете в космосе должно было подвергаться многократному и более сильному влиянию таким же образом со стороны многих других небесных тел. В этом случае климатические изменения, подобные нынешним, но иногда значительно усиливающиеся, предположительно возникли из-за постоянно меняющегося положения солнечной системы по отношению к другим частям Вселенной. Наконец, четвертая из наших второстепенных гипотез постулирует, что в настоящее время дата движений земной коры часто определяется тем фактом, что штормы и другие метеорологические условия постоянно меняют нагрузку сначала на одну часть земной поверхности, а затем на другую. Таким образом, высвобождаются напряжения, накопившиеся в изостатической оболочке земли за предыдущие месяцы. Примерно таким же образом эпохи экстремальных штормов и быстрой эрозии в прошлом, возможно, определили дату великих движений земной коры. Эта гипотеза, как и три другие в нашей второстепенной или несущественной группе, все еще настолько нова, что для ее проверки были предприняты только первые шаги. И все же это, по-видимому, заслуживает тщательного изучения.

При проверке всех обсуждаемых здесь гипотез, как первичных, так и вторичных, первой необходимостью является гораздо больший объем количественной работы. В этой книге предпринимались постоянные попытки подвергнуть каждую гипотезу проверке статистическими фактами наблюдения. Тем не менее, мы открыли так много нового, что во многих случаях точные факты еще недоступны, в то время как в других они могут быть должным образом исследованы только специалистами в области физики, астрономии или математики. В большинстве случаев следующим важным шагом является выяснение, действительно ли призванные здесь силы достаточно велики, чтобы произвести наблюдаемые результаты. Даже при том, что они действуют только как средство высвобождения гораздо больших сил, вызванных сжатием земли и солнца, они нуждаются в жесткой проверке на предмет их способности играть даже эту второстепенную роль. Еще одно направление исследований, которое громко требует исследований, - это более полное сравнение землетрясений, с одной стороны, и метеорологических условий, а также смещения полюсов - с другой. Наконец, чрезвычайно интересным и обнадеживающим направлением является определение положений и движений дополнительных звезд и других небесных тел, как слабых и невидимых, так и ярких, с целью установления вероятной величины их влияния на солнце и, следовательно, на землю в разное время в прошлом и в будущем. Возможно, мы даже сейчас приближаемся к какой-то звезде, которая когда-нибудь положит начало периоду климатических стрессов, подобному четырнадцатому веку, или, возможно, ледниковой эпохе. Или, возможно, изменения в других ближайших звездах, а также в Альфе Центавра, могут демонстрировать тесную связь с изменениями на солнце.

На протяжении всего этого тома мы пытались открыть новую истину о физической среде, которая определила эволюцию всего живого. Мы видели, насколько хрупким является равновесие между силами природы, даже несмотря на то, что они обладают самой огромной величиной. Мы видели, что нарушение этого равновесия на одном из небесных тел может привести к глубоким изменениям на другом, находящемся далеко отсюда. Тем не менее, за более или менее миллиард лет, о которых мы располагаем сведениями, по-видимому, ни разу не было полного катаклизма, связанного с уничтожением всего живого. Одна звезда за другой, если наша гипотеза верна, приближались к солнечной системе достаточно близко, чтобы вызвать в атмосфере Солнца такое волнение, что на земле произошли значительные изменения климата. И все же никогда солнечная система не проходила так близко к какому-либо другому телу и не изменялась каким-либо другим образом настолько, чтобы стереть с лица земли все живое. Следствием климатических изменений всегда было изменение окружающей среды и, следовательно, уничтожение части жизни в данный момент времени, но вместе с этим неизменно появлялся стимул для других органических типов. Произошли новые адаптации, были положены начало новым направлениям эволюционного прогресса, и конечным результатом стало большее органическое разнообразие и богатство. Может показаться, что временное резкое изменение климата замедляет эволюцию, но только на мгновение, поскольку геолог считает время. Затем становится очевидным, что прогресс на самом деле был более быстрым, чем обычно. Таким образом, основные периоды климатического стресса являются наиболее заметными вехами на пути к более разнообразной адаптации. Конец каждого такого периода стресса приближал жизнь мира к высокому менталитету, который простирается до крайних пределов пространства, времени и мысли в поисках какого-либо объяснения смысла вселенной. Каждое сближение солнца с другими телами, если таковое является причиной серьезных климатических изменений, приближало органический мир на один шаг к решению величайшей из всех проблем - проблемы того, существует ли психическая цель помимо ментальной цели, к которой мы движемся со все возрастающей скоростью. На протяжении огромных эпох геологического времени приспособление силы к силе, одного материального тела к другому и физической среды к органической реакции было настолько тонким и так неуклонно вело к одному главному направлению умственного прогресса, что, по-видимому, во всем этом есть цель. Если космическое единообразие климата продолжает преобладать и если это единообразие изменяется такими же стимулирующими изменениями, как изменения прошлого, воображение едва ли сможет представить чудеса будущего. В течение миллионов или даже миллиардов лет развитие разума и, возможно, души многих людей превосходило сегодняшнее развитие настолько, насколько самый высокий известный тип менталитета превосходит примитивную плазму, из которой, по-видимому, возникла вся жизнь.

НАПЕЧАТАНО В СОЕДИНЕННЫХ ШТАТАХ АМЕРИКИ

СНОСКИ:

[1] В. А. Сетчелл: Температурный интервал в географическом распределении морских водорослей; Наука, Том 52, 1920, стр. 187.

[2] Дж. Баррелл: Ритмы и измерения геологического времени; Бюлл. Геол. Соц. Ам., Том 28, декабрь 1917 г., стр. 745-904.

[3] Пирссон и Шухерт: Учебник геологии, 1915, стр. 538-550.

[4] Из книги Чарльза Шухерта "Эволюция Земли и ее обитателей": под редакцией Р. С. Лалла, Нью-Хейвен, 1918, но с изменениями профессора Шухерта.

[5] Дж. Х. Пойнтинг: Излучение в Солнечной системе; Фил. Пер. А, 1903, 202, с. 525.

[6] Л. Дж. Хендерсон: Приспособленность окружающей среды, 1913.

[7] Хендерсон: *документальное издание*, стр. 138.

[8] Ф. Р. Моултон: Введение в астрономию, 1916.

[9] Моултон: *источник. цит. по*

[10] Джеймс Кролл: климат и время, 1876 год.

[11] Т. К. Чемберлин: попытка сформулировать рабочую гипотезу о причинах ледниковых периодов на атмосферной основе; Jour. Геол., том. VII, 1899, стр. 545-584, 667-685, 757-787.

Т. К. Чемберлин и Р. Д. Солсбери: Геология, том. II, 1906, стр. 93-106, 655-677 и т. Д. III, стр. 432-446.

С. Аррениус (Kosmische Physik, Vol. II, 1903, с. 503) провел некоторые исследования диоксида углерода, которые оказали заметное влияние на более поздние выводы.

Ф. Фрех перенял идею Аррениуса и развил ее в статье, озаглавленной "Общие принципы геологического понимания". Конкурс Ренду, Десятый (Мексика) конгресс. Геол. Междунар., 1907 (=1908), стр. 299-325.

Точное происхождение теории о диоксиде углерода излагалось столь по-разному, что, по-видимому, стоит привести точные факты. Вдохновленный предположением Тиндаля о том, что оледенение может быть вызвано истощением атмосферного углекислого газа, Чемберлин разработал основные положения своих ранних взглядов еще до того, как увидел какую-либо публикацию Аррениуса, которому часто приписывали эту идею. В 1895 году или раньше Чемберлин начал излагать гипотезу об углекислом газе своим студентам и обсуждать ее в местных научных организациях. В 1897 году он подготовил статью "Группа гипотез, связанных с климатическими изменениями", Jour. Геол., том V (1897), который будет зачитан на собрании Британской ассоциации в Торонто, основывая свои выводы на определении Тиндаллом способности углекислого газа поглощать тепло, излучаемое землей. Он, по существу, завершил это, когда его внимание впервые привлекла статья Аррениуса "О влиянии углекислоты в воздухе на температуру почвы", Phil. Mag., 1896, стр. 237-276. Затем Чемберлин изменил свое консервативное, предварительное утверждение о функциях углекислого газа на более широкое,

основанное на вполне определенных количественных выводах Аррениуса из экспериментов Лэнгли. И Лэнгли, и Аррениус были тогда в расцвете своих репутаций, и, казалось бы, едва ли можно было выбрать более высокие авторитеты, равно как и более тонкую комбинацию, чем эксперимент и физико-математические разработки. Позже было доказано, что выводы Аррениуса были преувеличены, в то время как интерпретация Лэнгли и даже его наблюдения были оспорены. Последние взгляды Чемберлина больше похожи на его более раннее и консервативное заявление.

[12] К. Г. Эббот и Ф. Э. Фаул: Вулканы и климат; Кузнецы. Разное. Сборник, т. 60, 1913, 24 стр.

У. Дж. Хамфриз: Вулканическая пыль и другие факторы, влияющие на климатические изменения, и их возможная связь с ледниковыми периодами; Бюлл. Обсерватория Маунт-Уэзери, Том 6, часть 1, 1913, 26 стр. Также "Физика воздуха", 1920.

[13] Х. Арктовски: Плеонийский цикл климатических колебаний; Am. Журнал науки., Том 42, 1916, стр. 27-33. См. также "Анналы Нью-Йоркской академии наук", том 24, 1914.

[14] W. Köppen: Über mehrjährige Perioden der Witterung ins besondere über die 11-jährige Periode der Temperatur. Also, Lufttemperaturen Sonnenflecke und Vulcanausbrüche; Meteorologische Zeitschrift, Vol. 7, 1914, pp. 305-328.

[15] Так называемые числа солнечных пятен, на которые снова и снова делаются ссылки в этой книге, основаны на системе, разработанной Вольфом и переработанной А. Вулфером. При этом учитываются как количество, так и размер пятен. Цифры с 1749 по 1900 год можно найти в Ежемесячном обзоре погоды за апрель 1902 года, а с 1901 по 1918 год - в том же журнале за 1920 год.

[16] Большая часть этой главы взята из Солнечной гипотезы климатических изменений; Бык. Геол. соц. Ам., том 25, 1914.

[17] Эллсворт Хантингтон: Исследования в Туркестане, 1905; Пульс Азии, 1907; Палестина и ее трансформация, 1911; Климатический фактор, 1915; Мировая мощь и эволюция, 1919.

[18] Дж. Ханн: Климатология, Том 1, 1908, стр. 352.

[19] Х. К. Батлер: Пустынная Сирия, Земля исчезнувшей цивилизации; Географическое обозрение, февраль 1920 г., стр. 77-108.

[20] Это связано с тем фактом, что там, где произрастают эти леса, например, в Галааде, горы на западе обрываются, так что западные ветры с водой из Средиземного моря могут достигать внутреннего хребта, не теряя всю свою воду. Одно из несчастий Сирии заключается в том, что ее горы обычно возвышаются так близко к морю, что они препятствуют поступлению осадков вглубь страны и приводят к тому, что они выпадают на склонах, слишком крутых для возделывания.

[21] H. Leiter: Die Frage der Klimaänderung während geschichtlicher Zeit in Nordafrika. Abhandl. K. K. Geographischen Gesellschaft, Wien, 1909, p. 143.

[22] Наиболее тщательное и убедительное исследование этой проблемы представлено в статье Дж. У. Смита "Влияние погоды на урожайность кукурузы"; Ежемесячный обзор погоды, том 42,

1914, стр. 78-92. На основе данных об урожайности кукурузы в Огайо за 60 лет и в других штатах за более короткие периоды он показывает, что количество осадков в июле оказывает почти такое же влияние на урожай, как и количество осадков за все остальные месяцы вместе взятые. См. его "Сельскохозяйственная метеорология", Нью-Йорк, 1920г.

[23] Смотрите главу А. Э. Дугласа в "Климатическом факторе"; и его книгу о климатических циклах и росте деревьев; Институт Карнеги, 1919. Также статья М. Н. Стюарта "Отношение осадков к росту деревьев" в "Ежемесячном обзоре погоды", том 41, 1913.

[24] Пунктирная линия взята из книги "Палестина и ее преобразование", стр. 327 и 403.

[25] М. А. Штайн: Руины пустынного Китая, Лондон, 1912.

[26] Выражаем признательность мистеру Г. Б. Кресси за помощь в подготовке и интерпретации этой таблицы.

[27] Данные о деревьях, использованные в этих сравнениях, см. в "Климатическом факторе", стр. 328, и "А. Э. Дуглас: Климатические циклы и рост деревьев", стр. 123.

[28] С интерполяцией на один год.

[29] Дж. У. Грегори: Земля высыхает? Геог. Журнал., Том 43, 1914, стр. 148-172 и 293-318.

[30] Геогр. Jour., Vol. 43, pp. 159-161.

[31] См. А. Дж. Генри: Вековые колебания осадков в Соединенных Штатах; Бык. А.М. Геог. соц., Т. 46, 1914, с. 192-201.

[32] О. Петтерссон: Связь между гидрографическими и метеорологическими явлениями; Ежеквартальный журнал Королевского метеорологического общества, Том 38, стр. 174-175.

[33] A. Norlind: Einige Bemerkungen über das Klima der historischen Zeit nebst einem Verzeichnis mittelaltlicher Witterungserscheinungen; Lunds Univ. Арсскрифт, Н. Ф., Том 10, 1914, 53 стр.

[34] Торвальд Роджерс: История сельского хозяйства и цен в Англии.

[35] Э. Брюкнер: Климашванкунген, 1700 год, Вена, 1891.

[36] Полное обсуждение изменений в Каспийском море см. в "Пульсе Азии", стр. 329-358.

[37] С. К. Морли: Надписи в Копане; Институт Карнеги. из Вашингтона., № 219, 1920.

Эллсворт Хантингтон: Континент Красного человека, 1919.

[38] Смотрите Краткое изложение работы Вольфа с дополнительной информацией Х. Фрица; Цюрихский Вьертельяршрифт, Том 38, 1893, стр. 77-107.

[39] Эта глава является дополнением и переработкой наброска ледникового периода, содержащегося в Солнечной гипотезе климатических изменений; Бык. Геол. соц. Ам., том 25, 1914.

[40] Р. Д. Солсбери: Физическая география плейстоцена в очерках геологической истории, Уиллис, Солсбери и другие, 1910, стр. 265.

[41] Четвертичный ледниковый период, 1914, стр. 364.

[42] Для более полного обсуждения климатического контроля см. С. С. Вишер: Семьдесят законов климата, Анналы доц. А.М. Географы, 1922.

[43] Многие из этих изменений подразумеваются или обсуждаются в следующих статьях:

1. Ф. В. Хармер: Влияние ветров на климат плейстоцена; Кварт. Jour. Геол. соц., т. 57, 1901, с. 405.
2. С. Е. Р. Брукс: Метеорологические условия ледяного покрова; Кварт. Jour. Королевский Метеорол. Соч., т. 40, 1914, с. 53-70, и Эволюция климата на Северо-западе Европы; указ. соч., т. 47, 1921, с. 173-194.
3. У. Х. Хоббс: Роль ледникового антициклона в циркуляции воздуха на Земном шаре; Сборник научных трудов, Том 54, 1915, стр. 185-225.

[44] У. Б. Райт: Четвертичный ледниковый период, 1914, стр. 100.

[45] Описание распределения ледяного покрова основано на настенной карте Северной Америки Т. К. Чемберлина в период максимального оледенения 1913 года.

[46] Чемберлин и Солсбери: Геология, 1906, том 3, и У. Х. Хоббс: характеристики существующих ледников, 1911.

[47] С. С. Вишер: География Южной Дакоты; S. D. Geol. Обзор, 1918.

[48] У. Х. Хоббс: Характеристики существующих ледников, 1911. Роль ледниковых антициклонов в циркуляции воздуха на Земном шаре; Сборник научных трудов, Том 54, 1915, стр. 185-225.

[49] Р. Д. Солсбери: Физиография, 1919.

[50] Гриффит Тейлор: Австралийская метеорология, 1920, стр. 283.

[51] Дж. Д. Уитни: климатические изменения поздних геологических времен, 1882.

[52] Е. Е. Free: Министерство сельского хозяйства США, Булл. 54, 1914 г. Мистер Фри подготовил краткое изложение этого бюллетеня, которое появляется в "Солнечной гипотезе", Булл. Геол. сек. А.М., Т. 25, с. 559-562.

[53] Г. К. Гилберт: озеро Бонневиль; Монография 1, Геол. США. Обзор.

[54] С. Е. Р. Брукс: Кварт. Jour. Королевский метеоролог. Соч., 1914, стр. 63-66.

[55] Х. Дж. Л. Биднелл: А. Египетский оазис, Лондон, 1909.

Эллсворт Хантингтон: Ливийский оазис Харга; Бык. Am. Geog. Soc., Том 42, сентябрь 1910 г., стр. 641-661.

[56] С. С. Вишер: Баджада из Тусон-Болсона, Южная Аризона; Наука, Нью-Йорк, 23 марта 1913г.

Эллсворт Хантингтон: Бассейны Восточной Персии и Сейстана в ходе исследований в Туркестане.

[57] Гриффит Тейлор: Австралийская метеорология, 1920, стр. 189.

[58] Чемберлин и Солсбери: Геология, 1906, том. III, стр. 405-412.

[59], возможно, он отступил вскоре после достижения своего максимума. Если это так, то общее отсутствие мощных концевых морен было бы объяснено. См. стр. 122.

[60] Роллин Т. Чемберлин: Личное общение.

[61] Ф. Х. Ноултон: Эволюция геологического климата; Бюлл. Геол. соц. Ам., Том 30, 1919, с. 499-566.

[62] Часть. Шухерт: Обзор книги Ноултона "Эволюция геологического климата", в журнале Am. Jour. Sci., 1921.

[63] Г. Р. Виланд: распределение и взаимоотношения цикадеоидов; Ам. Журнал. Бот., Том 7, 1920, стр. 125-145.

[64] Д. Т. Макдугал: Ботанические особенности пустынь Северной Америки; Институт Карнеги. из Вашингтона., № 99, 1908.

[65] *Источник. цит. по*

[66] Х. Х. Клейтон: Изменение солнечной радиации и погоды; Кузнецы. Разное. Сборник, том 71, № 3, Вашингтон, 1920.

[67] Б. Хелланд Хансен и Ф. Нансен: колебания температуры в Северной части Атлантического океана и в атмосфере; Разное. Колл., Смиты. Инст., том 70, № 4, Вашингтон, 1920.

[68] Климатическое значение океанских течений хорошо обсуждается в книгах Кролла "Климат и время", 1875, и "Климат и космогония", 1889.

[69] Ф. Дж. Б. Кордейро: Гироскоп, 1913.

[70] У. В. Гарнер и Х. А. Аллард: Цветение и плодоношение растений в зависимости от продолжительности дня; Отдел ежегодников. Сельское хозяйство., 1920, с. 377-400.

[71] Отчет Комитета по седиментации Национального исследовательского совета, апрель 1922г.

[72] Часть. Шухерт: Изменение поверхности и климата Земли в течение геологического времени; в книге "Затишье: Эволюция Земли и ее обитателей", 1918, стр. 55.

[73] Цитируется Ж. Корне: Курс геологии, 1920, стр. 330.

[74] Т. К. Чемберлин: Порядок величины усадки Земли; Jour. Геол., Т. 28, 1920, с. 1-17, 126-157.

[75] Г. И. Тейлор: Философские труды, А. 220, 1919, стр. 1-33; Ежемесячные уведомления Royal Astron. Соч., январь 1920 г., Т. 80, с. 308.

[76] Дж. Джеффриз: Ежемесячные уведомления Royal Astron. Соч., январь 1920 г., Т. 80, с. 309.

[77] Э. В. Браун: личное общение.

[78] К. С. Сличтер: период вращения неоднородного сфероида; во Вкладах в фундаментальные проблемы геологии, Т. К. Чемберлин, и др., Институт Карнеги. из Вашингтона., № 107, 1909.

[79] Э. Зюсс: Лик Земли, Т. II, стр. 553, 1901.

[80] Часть. Шухерт: Изменяющаяся поверхность и климат Земли; в книге "Затишье: Эволюция Земли и ее обитателей", 1918, стр. 78.

[81] Дж. Баррен: Ритмы и измерение геологического времени; Бюлл. Геол. соц. Ам., Т. 28, 1917, с. 838.

[82] Часть. Шухерт: *лок. цит. по*, стр. 78.

[83] Т. К. Чемберлин: Диастрофизм, конечная основа корреляции; Журнал. Геол., Т. 16, 1909; Часть. Шухерт: *лок. цит.*

[84] Пирссон-Шухерт: Учебник геологии, 1915, том. II, с. 982; Глава. Шухерт: Палеогеография Северной Америки; Бюлл. Geol. Soc. Am., т. 20, с. 427-606; ссылка на с. 499.

[85] Общий вопрос климатического значения континентальности обсуждается К. Э. П. Бруксом: континентальность и температура; Кварт. Jour. Королевский метеоролог. Соч., апрель 1917 г. и октябрь 1918 г.

[86] Часть. Шухерт: Климат геологического времени; в "Климатическом факторе"; Институт Карнеги, 1914, стр. 286.

[87] А. де Лаппарент: Черты геологии, 1906.

[88] Часть. Шухерт: Историческая геология, 1915, с. 464.

[89] М. М. Меткалф: О важном методе изучения проблем родства и географического распределения; Труды Национальной академии наук, том 6, июль 1920 г., стр. 432-433.

[90] Часть. Шухерт: Палеогеография Северной Америки; Бюлл. Geol. Soc. Am., том 20, 1910; и Уиллис, Солсбери и другие: Очерки геологической истории, 1910.

[91] Часть. Шухерт: Изменяющаяся поверхность и климат Земли; в книге "Затишье: Эволюция Земли и ее обитателей", 1918, стр. 50.

[92] А. Дж. Генри: уменьшение количества осадков с высотой; Ежемесячный обзор погоды, том 47, 1919, стр. 33-41.

[93] Ч. Ф. Брукс: Ежемесячный обзор погоды, том 46, 1918, стр. 511; а также А. Дж. Генри и другие: Прогноз погоды в Соединенных Штатах, 1913.

[94] Ф. Х. Ноултон: Эволюция геологического климата; Бюлл. Геол. Соц. Ам., Том 30, декабрь 1919, стр. 499-566.

[95] Талберт, цитируется И. Боуменом: Физиография лесов, 1911, стр. 63.

[96] Дж. Баррелл: Ритмы и измерение геологического времени; Бюлл. Геол. соц. Ам., Том 28, 1917, с. 745-904.

[97] С. Е. Р. Брукс: Эволюция климата на Северо-западе Европы. Кварт. Jour. Королевский метеоролог. Соч., том 47, 1921, стр. 173-194.

[98] Х. Ф. Осборн: Люди древнего каменного века, Нью-Йорк, 1915; Дж. М. Тайлер: Новый каменный век в Северо-Западной Европе, Нью-Йорк, 1920.

[99] Британская энциклопедия, 11-е издание: статья "Океан".

[100] С. Е. Р. Брукс: Метеорологические условия ледяного покрова и их влияние на высыхание земного шара; Кварт. Jour. Королевский метеоролог. Соч., том 40, 1914, стр. 53-70.

[101] Данные геохимии, Четвертое изд., 1920; Булл. № 695, Геол. США. Опрос.

[102] Цитируется Шухертом в "Эволюции Земли".

[103] Смитсоновские физические таблицы, шестое издание, 1914, стр. 142.

[104] Чемберлин в очень наводящей на размышления статье "О возможном изменении океанической циркуляции" (Журнал геологии, том 14, стр. 363-373, 1906) обсуждает вероятные климатические последствия изменения направления глубоководной циркуляции. Не совсем исключено, что с течением веков увеличивающийся вынос соли с земель не только природой, но и деятельностью человека в сельском хозяйстве и дренаже может в конечном итоге вызвать такое изменение, увеличивая соленость океана до тех пор, пока более соленая тропическая часть не станет тяжелее более прохладных, но более свежих приполярных вод. Если бы это произошло, Гренландия, Антарктида и северные берега Америки и Азии были бы согреты тропическим теплом, которое было перенесено к полюсу под поверхностью океана без потерь *в пути*. Приполярные регионы при таких условиях обратной глубоководной циркуляции могли бы иметь мягкий климат. Действительно, они могли бы быть одними из самых благоприятных регионов мира с точки зрения климата.

[105] Британская энциклопедия: статья "Океан".

[106] Чемберлин и Солсбери: Геология, Том. II, стр. 1-132, 1906; и Т. К. Чемберлин: Происхождение Земли, 1916.

[107] Личное сообщение.

[108] Р. Т. Чемберлин: Газы в горных породах, Институт Карнеги. из Вашингтона., № 106, 1908.

[109] Дж. Баррелл: Происхождение Земли, в книге "Эволюция Земли и ее обитателей", 1918, стр. 44, и более полно в неопубликованной рукописи.

[110] Ф. В. Кларк: Данные геохимии, Четвертое изд., 1920, Булл. № 695, Геол. США. Обзор, стр. 256.

[111] Ф. В. Кларк: *цит. по.*, стр. 27-34 и др.

[112] Ч. Э. Сент-Джон: пресс-отчеты Службы науки из обсерватории Маунт-Вильсон, май 1922 г.

[113] Эббот и Фаул: Астрофизическая обсерватория "Анналы"; Смиты. Инст., т. II, 1908, с. 163.

Ф. Э. Фаул: Атмосферное рассеяние света; Разное. Колл. Смиты. Инст., том 69, 1918.

[114] Эббот и Фаул: *loc. cit.*, стр. 172.

[115] Х. Х. Тернер: О длительном периоде в записях о землетрясениях в Китае; Пн. Нет. Королевский астроном. Соч., Т. 79, 1919, с. 531-539; Т. 80, 1920, с. 617-619; Длительные периоды роста деревьев; *там же*, с. 793-808.

[116] Харлоу Шепли: Замечание о возможном факторе геологического климата; Jour. Геол., Том 29, № 4, май 1921 г.; Новые и переменные звезды, Изд. Астрон. Соц. Пак., № 194, август 1921г.

[117] Дж. Х. Джинс: Проблемы космогонии и звездной динамики, Кембридж, 1919.

[118] Этот факт настолько важен и в то же время настолько удивителен для непрофессионала, что здесь добавлена цитата из "Электронной теории вещества" О. У. Ричардсона, 1914, стр. 326 и 334.

"Общеизвестен факт, что при нагревании материальные тела испускают электромагнитное излучение в форме тепловых, световых и актинических лучей в заметных количествах. Такой эффект является естественным следствием электронной и кинетической теорий вещества. Согласно кинетической теории, температура является мерой силы движения элементарных частиц; и мы видели, что согласно электронной теории электромагнитное излучение является следствием их ускорения. Расчет этого излучения только с точки зрения электронной теории является очень сложной проблемой, которая уводит нас глубоко в структуру материи и которая, вероятно, еще не была удовлетворительно решена. К счастью, мы можем многое узнать об этих явлениях, применяя общие принципы, такие как сохранение энергии и второй закон термодинамики, не рассматривая специальных предположений о конечном строении материи. Следует иметь в виду, что рассматриваемое излучение происходит при любых температурах, хотя оно тем заметнее, чем выше температура.... Энергия на единицу объема, в вакууме, излучения, находящегося в равновесии в замкнутом пространстве при абсолютной температуре T , равна универсальной константе A , умноженной на четвертую степень абсолютной температуры. Поскольку интенсивность излучения равна энергии на единицу объема, умноженной на скорость света, из этого следует, что первая также должна быть пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры. Более того, если E - общее излучение с единицы площади абсолютно черного тела, то из стр. 330 мы видим, что $E = \text{ПРИ}^4$, где A - новая универсальная постоянная. Этот результат обычно известен как закон Стефана. Стефаном было высказано предположение в неточной форме, что общая лучистая энергия излучения тел изменяется как четвертая степень абсолютной температуры, как обобщение результатов экспериментов. Заслуга в том, что они показали, что это следствие существования радиационного давления в сочетании с принципами термодинамики, принадлежит Бартоли и Больцману".

[119] Цитируется Моултоном в его "Введении в астрономию".

[120] Введение в астрономию.

[121] Термин "миллиарды" здесь и в других местах используется в американском смысле, 10^9 .

[122] Предполагаемое количество звезд здесь в десять раз больше, чем в других частях этой строки.

[123] Льюис Босс: Сходящееся движущееся скопление в Тельце; Астроном. Журнал., Том 26, № 4, 1908, с. 31-36.

[124] Ф. Р. Моултон: введение в астрономию, 1916.

[125] А. Пенк: Альпийский поход в Айзцайталь, Лейпциг, 1909.

[126] Р. Д. Солсбери: Физическая география плейстоцена, в очерках геологической истории, Уиллис и Солсбери, 1910, стр. 273-274.

[127] Дэвис, Пампелли и Хантингтон: исследования в Туркестане, Институт Карнеги. из Вашингтона., № 26, 1905.

В Северной Америке этапы были предметом интенсивных исследований Тейлора, Леверетта, Голдтуэйта и многих других.

[128] Двойная звезда.

[129] Э. Кирк: Палеозойское оледенение на Аляске; Международный журнал науки, 1918, стр. 511.

[130] Дж. Милн: Каталог разрушительных землетрясений; Представитель Британии. Доц. адв. наук, 1911.

[131] Wm. Боуи: Лекция перед Геологическим клубом Йельского университета. До утра. Jour. Sci., 1921.

[132] Часть. Дэвиссон: О годовых и полугодовых сейсмических периодах; Рой. Соц. из Лондона, Philosophical Transactions, том 184, 1893, 1107 *и далее*

[133] К. Г. Нотт: Физика явлений землетрясений, Оксфорд, 1908.

[134] В таблице 8 в первом столбце указан регион, во втором - даты, а в третьем - количество толчков. В четвертом столбце указан месяц, в котором наблюдается годовой максимум, когда грубые цифры сглаживаются путем использования перекрывающихся средних значений за шесть месяцев. Другими словами, среднее значение за каждые последующие шесть месяцев было помещено в середину периода. Таким образом, среднее значение с января по июнь включительно помещается между мартом и апрелем, с февраля по июль - между апрелем и маем, и так далее. Этот метод устраняет незначительные колебания, а также все периодичности продолжительностью менее года. Если бы не было годовой периодичности, сглаживание привело бы к практически одинаковому показателю для каждого месяца. В столбце с пометкой "Амплитуда" указан диапазон от самого высокого месяца до самого низкого, разделенный на количество землетрясений и затем скорректированный в соответствии с методом Шустера, который хорошо известен математикам, но который настолько сбивает с толку непрофессионала, что не будет описываться. Далее, в столбце с пометкой "Ожидаемая амплитуда", у нас есть амплитуда, которая ожидалась бы, если бы ряд чисел, соответствующих количеству землетрясений и имеющих аналогичный диапазон, располагался в случайном порядке в течение года. Это также рассчитывается по методу Шустера, в котором ожидаемая амплитуда равна квадратному корню из числа "пи", деленному на количество ударов. Когда фактическая амплитуда в четыре или более раз превышает ожидаемую, вероятность наличия

реальной периодичности в наблюдаемых явлениях становится настолько большой, что мы можем считать это практически несомненным. Если периодичности нет, то они равны. В последнем столбце указано, во сколько раз фактическая амплитуда превышает ожидаемую, и, таким образом, это показатель вероятности того, что землетрясения систематически изменяются в течение года.

[135] Н. Ф. Дрейк: Разрушительные землетрясения в Китае; Бык. Сейсм. Соч., Том 2, 1912, стр. 40-91, 124-133.

[136] Единственное другое объяснение, которое, по-видимому, имеет какое-либо значение, - это психологическая гипотеза Монтессу де Баллор, приведенная в книге "Трепет земли". Он объясняет очевидные сезонные колебания частоты землетрясений тем фактом, что зимой люди находятся в закрытом помещении и, следовательно, замечают движения земли гораздо чаще, чем летом, когда они находятся на улице. Аналогичная разница существует между привычками людей в высоких и низких широтах. Несомненно, это оказывает заметное влияние на степень заметности незначительных землетрясений. Тем не менее, утверждение де Баллоре, как и любое другое психологическое объяснение, полностью опровергается двумя фактами: во-первых, инструментальные записи показывают то же сезонное распределение, что и записи, основанные на прямых наблюдениях, и на инструменты, безусловно, не влияют времена года. Во-вторых, в некоторых местах, особенно в Китае, как показал Дрейк, землетрясения чаще всего происходят летом, а не зимой.

[137] Интересно сравнение тропических ураганов с землетрясениями. Принимая во внимание все ураганы, зарегистрированные в августе, сентябре и октябре с 1880 по 1899 год, и соответствующие землетрясения в каталоге Милна, коэффициент корреляции между ураганами и землетрясениями составляет $+0,236$ с вероятной ошибкой $\pm 0,082$, при этом в качестве единицы измерения используется месяц. Это небольшая корреляция, но если вспомнить, что ураганы представляют собой лишь небольшую часть атмосферных возмущений в любой данный месяц, можно предположить, что при наличии более полных данных корреляция может быть большой.

[138] Эллсворт Хантингтон: Географическая работа доктора М. А. Видера; Геог. изд., том 3, март и апрель 1917 г., № 3 и 4.

[139] Фрэнк Шлезингер: Вариации широты; Их влияние на наши знания о недрах Земли; Proc. Am. Phil. Soc., Том 54, 1915, стр. 351-358. Также Отчет Смитсоновского института за 1916 год, стр. 248-254.

[140] Гарольд Джеффрис: причины, способствующие годовым изменениям широты; Ежемесячные уведомления, Королевский астрономический журнал, том 76, 1916, стр. 499-525.

[141] Джон Милн: отчеты Британской ассоциации за 1903 и 1906 годы.

[142] К. Г. Нотт: Физика явлений землетрясений, Оксфорд, 1908.

[143] А. К. Лоусон: Подвижность береговых хребтов Калифорнии; Калифорнийский университет, Геология, том 12, № 7, стр. 431-473.